

欧州におけるLNG等新燃料を使用する 船用エンジンに関する開発動向及び使用環境調査

2018年3月

一般社団法人 日本船用工業会
一般財団法人 日本船舶技術研究協会

はじめに

近年の地球規模での環境問題への意識の高まりから、海運分野でも環境負荷低減の努力が求められており、環境規制が強化されて来ている。

国際海事機関（IMO）は、海洋汚染防止条約（MARPOL 条約）によって船舶からの窒素酸化物（NO_x）、硫黄酸化物（SO_x）等の排ガス規制を段階的に強化してきており、特に北米や欧州等の排出規制海域（Emission Control Area: ECA）については、より厳しい基準が採用されている。ECA では、2016 年から NO_x 3 次規制が実施され、2015 年から燃料油中の硫黄分濃度の上限値を 0.1% とする SO_x 規制が実施されている。SO_x 規制に関しては、2016 年 10 月、IMO は、ECA を除く一般海域における硫黄分濃度の上限値を現行の 3.5% から 0.5% に強化する規制の開始時期を 2020 年 1 月 1 日とすることを決定した。

また、船舶からの CO₂ 等の温室効果ガス（GHG）の排出削減については、MARPOL 条約により 2013 年から新造船の GHG 排出性能（EEDI）を段階的に強化する規制が導入され、2025 年以降は 2013 年の規制開始時から EEDI 値を 30% 削減することが規定されている。2016 年 10 月、船舶に燃料消費量等の運航データを報告させる制度の導入に関する条約改正案を採択するなど、現在 IMO において、現存船を含めた GHG 排出削減対策について議論が進められている。

一方、液化天然ガス（LNG）は、船舶で通常使用される重油と比較して NO_x、SO_x、CO₂ の排出量が少なく、特に SO_x に関してはほぼ 100% 排出しないなど環境性能に優れており、価格面でも一般に重油や軽油に比較して優位性を有するとされていることなどから、ECA を有する北米や欧州では LNG を燃料として使用する船舶（LNG 燃料船）の導入が進みつつあり、我が国でも一部の船社が導入を発表するなど、海事関係業界に導入機運が高まっている。LNG を燃料とするエンジンについては、欧州を中心に既存の燃料油と LNG を両方使用できる二元燃料（Dual Fuel）エンジンの導入が進んできている。また、LNG 以外にもメタノール等を使用する船用エンジンの開発が進んでおり、さらに、バイオ燃料等新燃料の使用も検討されている。

しかしながら、現状では、LNG 燃料を供給できるインフラが世界的に不足しており、LNG 燃料船の普及に向けた課題となっている他、船舶間や船陸間の LNG 燃料の移送方法や LNG 燃料船に対する航行、入出港時の安全要件等についても、各国によって独自の規制が存在する可能性があり、LNG 燃料船の普及促進への障害となるおそれがある。

このため、欧州における LNG 等新燃料を使用する船用エンジンに関する開発動向とともに、欧州各国のインフラ整備や国内規制など LNG 等新燃料の使用環境についても併せて調査を実施した。

ジャパン・シップ・センター
船用機械部

目 次

1. LNG 燃料船：普及の背景と概要	1
1-1. LNG 燃料船の普及の背景	1
1-2. 燃料価格の比較と動向	2
1-3. 新燃料、新技術導入への障害	3
1-4. 代替燃料	4
1-5. LNG の特徴	4
1-6. 船用 LNG 燃料	5
1-7. 化石燃料の埋蔵量	5
2. 排出規制の概要	8
2-1. NO _x 排出規制	8
2-2. SO _x 排出規制	9
2-3. 温室効果ガス削減対策	10
3. LNG 燃料船の就航状況	14
3-1. LNG 燃料船の隻数推移と地理的分布	14
3-2. LNG バンカリング	16
3-3. LNG 燃料船の船種の多様化	17
3-4. LNG 燃料船の船種別実例	18
3-4-1. クルーズ船	18
3-4-2. カーフェリー	22
3-4-3. タグボート	25
3-4-4. 調査船	26
3-4-5. 貨物船	28
3-4-6. 自動車運搬船	30
3-4-7. コンテナ船	31
3-4-8. タンカー	32
3-4-9. 浚渫船	35
3-4-10. スーパーヨット	36
4. 欧州主要エンジンメーカーの LNG 燃料船用エンジンの開発動向	38
4-1. 概要	38
4-2. ガス焼きエンジンの種類と普及状況	38
4-3. メタンスリップ	42
4-4. 多元燃料への対応	43
4-5. 欧州主要エンジンメーカーの動向	44
4-5-1. Wärtsilä (フィンランド)	44
4-5-2. Winterthur Gas & Diesel (WinGD) (スイス)	44

4-5-3. MAN Diesel & Turbo (ドイツ)	46
4-5-4. Rolls-Royce (英国)	47
5. 代替燃料の可能性と開発動向	49
5-1. 概要	49
5-2. 船用代替燃料普及の可能性	49
5-3. 欧州の代替燃料政策	50
5-4. 主な代替燃料	50
5-4-1. バイオ LNG (液化バイオメタン)	50
5-4-2. バイオ燃料	51
5-4-3. メタノール	52
5-4-4. 水素	57
5-4-5. LPG	60
6. 欧州の代替燃料振興政策及び補助金制度	64
6-1. EU 補助金制度	64
6-2. ノルウェー	65
6-2-1. NO _x 基金	65
6-2-2. その他の助成プロジェクト	67
6-3. ドイツ: LNG 燃料船への補助金制度	68
6-4. フランス: 船用 LNG 燃料普及への支援策	69
6-5. ロッテルダム港: LNG バンカリングへのインセンティブ	69
7. LNG 燃料船の使用環境: バンカリングインフラ	71
7-1. 世界の LNG バンカリングインフラ整備状況	71
7-2. LNG バンカリング方法	71
7-3. バンカリング規制環境	78
7-4. 欧州港湾の LNG バンカリングインフラ	79
7-5. 欧州の LNG 燃料バンカー船、バンカーバージ、 その他のバンカリング方法の実例	87
8. LNG 燃料及び代替燃料の船用利用に関する規制環境	98
8-1. 概要	98
8-2. 主要国際規則と標準	98
8-3. IMO 国際ガス燃料船安全コード (IGF コード) の概要	101

1. LNG 燃料船：普及の背景と概要

1-1. LNG 燃料船の普及の背景

船舶から排出される大気汚染物質への規制は、北米、欧州北部を中心に近年厳格化している。2005 年以來、既に特定海域では NO_x（窒素酸化物）及び SO_x（硫黄酸化物）の排出に関する規制が段階的に強化されてきたが、2020 年には全世界的な SO_x 排出規制の開始が予定されており、船主・船社、造船所、船用企業、燃料供給企業を含む海事産業は対応の準備を迫られている。

現在、利用可能な SO_x 規制への現実的な対応策としては、以下の 3 つが挙げられる。

- ① 低硫黄分燃料油、即ち低硫黄重油（LSFO）、船用ガスオイル（MGO）、船用ディーゼルオイル（MDO）等の使用
- ② 従来の重油燃料（HFO）と排ガス洗浄装置（スクラバー）の使用
- ③ LNG 燃料等代替燃料の使用

その中で、硫黄含有量がほぼゼロで、燃焼過程における NO_x 排出量も重油燃料や船用ディーゼル燃料と比較して低い LNG（液化天然ガス）は、熱量的、価格的に競争力も高く、対応エンジン等の市場も確立している。よって、現時点においては SO_x 規制に対応する有力な手段及び代替燃料と考えられおり、安全要件やインフラを含めた使用環境も整備されつつある。

2000 年にノルウェーで初の LNG 燃料フェリー「Glutra」が就航して以来、現在では世界で 100 隻以上の LNG 燃料船が就航しており、発注済みの新造船を含めると 200 隻以上となる。世界の商船全体から見ると一部ではあるが、近年新造船全体に占める LNG 燃料船の割合は増えており、2017 年に発注された新造船の 11%が LNG 燃料船である。¹

一方、船用燃料としての LNG 採用に関しては、船舶の推進システム及び関連システムに加え、LNG 燃料供給（バンカリング）システムへの多額の投資とそれに伴う法規制の整備が必要となるなど、従来の重油燃料に代わる LNG 燃料船の早期普及への課題も多い。

短期的には、規制に適応する船用燃料油の価格は 2020 年の SO_x 規制に向けて徐々に上昇すると予想されており、特に規制開始後の 2020 年以降は更なる上昇が予想される。また、排ガス洗浄装置（スクラバー）等のシステム設置には大きな投資が必要となる。これらのシステムは、船内スペースを取ると同時に燃料消費量も 2~3%上昇する²。特に既存船へのレトロフィットに関しては、船体設計によりスペースの確保が困難な場合もある。一方、利点としては、比較的安価な高硫黄分の重油を引き続き使用することが出来ること

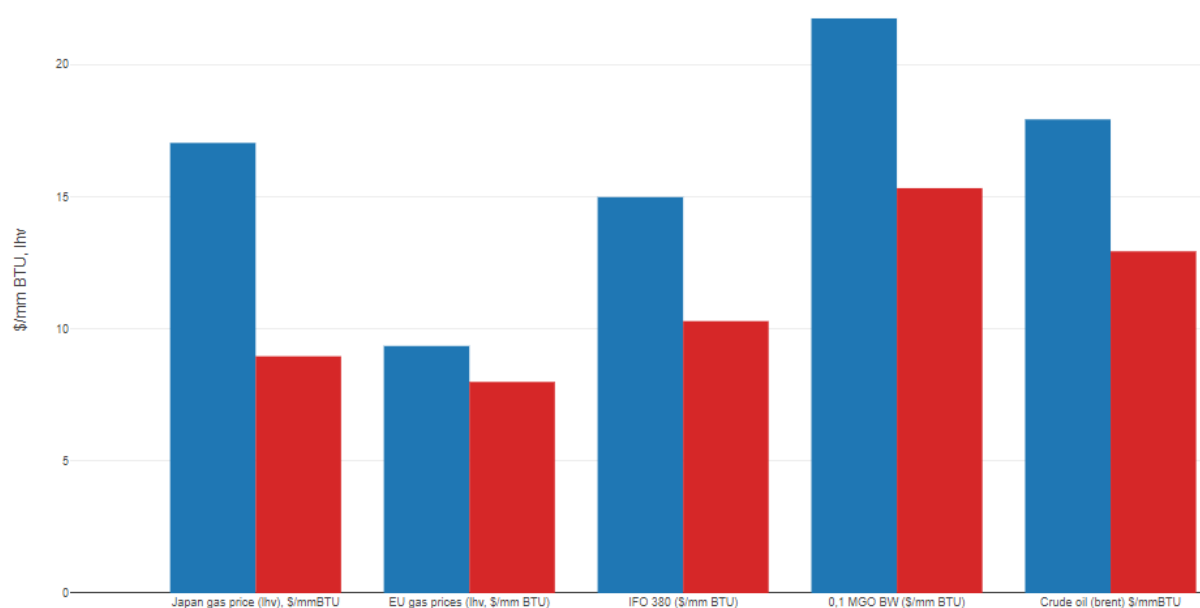
¹ Titan LNG

² DNV GL

である。硫黄分を含まない代替燃料の使用も可能であるが、価格と技術的問題がネックとなる可能性がある。

1-2. 燃料価格の比較と動向

下図は、発熱量（低位発熱量）で見た場合の2014年10月と2018年1月の石油とガスの価格の比較である。左から、天然ガス（日本）、天然ガス（EU）、重油（IFO 380）、MGO（船用ガスオイル）、原油（北海ブレント）の百万英熱量（BTU）当たりの価格（米ドル）を示している。



図：石油及び天然ガス価格の推移

（左：2014年10月、右：2018年1月、単位：ドル／百万英熱量）

出所：DNV GL

上記の数字は、同一熱量に対する価格比較の参考である。地域差はあるが、天然ガスの液化には上記価格に3~5ドルを加えなければならないため、LNG価格は現時点では重油とほぼ同等又は僅かに高くなる。欧州の場合、LNGはパイプライン経由の天然ガスとの価格競争力が高いが、それでも輸送コストは必要である。

以上の点を踏まえても、現時点において天然ガスは石油燃料よりも价格的に有利であることが分かる。特に、現在広く利用されている低硫黄燃料であるMGOとの価格差は大きい。

また、今後増産が予想されるSOx規制に適合するために特別にブレンド又は精製された低硫黄重油（LSFO、硫黄分0.5%）や超低硫黄重油（ULSFO、同0.1%以下）の価格に関する統計はないが、成分的に見て、その価格は重油とMGOの間になると考えられる。

グローバルな SO_x 規制開始直後は、MGO 又は規制適合低硫黄重油の利用が主流となり、その価格は上昇すると予想され、LNG 燃料の価格優位性が高まる。一方、現行の高硫黄重油への需要は減少し、価格は低下するが、スクラバー搭載船のために一定量の重油は今後も必要となる。

中長期的には、メタノール、LPG、水素等 LNG 以外の代替燃料の利用も増加し、船用燃料の種類と価格の更なる多様化が予想される。

1-3. 新燃料、新技術導入への障害

LNG 燃料は価格的に競争力があるとしても、新造船への LNG 燃料の採用は、船主にとって大きな決断である。船種によっては、従来燃料使用船よりも建造コストが最大 30% 高くなる場合もある。特に、LNG バンカリングインフラが未整備の海域で不定期運航を行う船舶の多い市場においては、新造船の LNG 燃料対応への多大な投資を行うことに躊躇する船主・船社は多い。

新造船に LNG 燃料の採用を検討している船主・船社には、当初から LNG 燃料船として新造船を建造、又は将来的な LNG 燃料採用を視野にレトロフィットが可能な設計を持つ新造船（LNG Ready 船）を建造、という二つのオプションがある。

一方、投資コストの回収が比較的短期間で可能な技術の場合でも、多くの船主・船社にとっては資金確保の困難さが新技術導入への障害となっている。また、代替燃料を採用したとしても、既存船のシステムとの互換性に問題があり、高額なレトロフィットが必要となる場合もある。新技術の導入は長期的なプロジェクトとなり、問題が発生した場合には更なる出費や遅延による損失に繋がる。

同時に、特定の海運市場では、用船主が燃料コストを支払うため、船主は代替燃料の使用や燃料効率に関心がない場合もある。また、様々な規制当局による統一性のない規制環境も対応を遅らせる原因となっている。さらに、代替燃料、新燃料のバンカリング設備とサプライチェーンの未整備、燃料の長期的な供給体制の不透明さ等が、新燃料採用への障害となっている。

燃料供給インフラが整備されていない限り船主は新燃料の採用に躊躇し、逆に、エネルギー企業は顧客がない限り高額なインフラ投資を行わない。このような事態を打開するためには、産業全体の協力と政治的な意思及び仕組みが必要である。後述のように、欧州では、EU 主導の LNG インフラ整備促進策が実施されている。

1-4. 代替燃料

船舶の重油燃料から LNG 燃料への転換は、1870 年代から 1940 年代にかけての自然の風力を利用した帆船から蒸気を利用した動力船への転換、ディーゼルエンジンの開発とともに 1920 年から始まった石炭燃料から石油燃料への転換に続く、船舶の動力系の大きな転換である。

石炭燃料から石油燃料への転換が、動力効率の向上、取扱いの容易さ、クリーンなオペレーション等が普及の要因となったように、石油燃料からガス燃料への転換は、環境保護を目指した規制強化が最大の要因となっている。

SO_x 規制の強化に伴い、今後、重油を含む石油燃料とは異なる代替燃料が採用され、船用燃料の多様性が高まると予想される。現時点では、LNG が全ての海運市場における最も有力な選択肢であるが、天然ガスも石油や石炭と同じく化石燃料であり、限りのある資源である。化石燃料以外の燃料としては、後述のバイオ LNG その他のバイオ燃料等も徐々に普及していくと考えられる。

電力の利用も拡大していくと予想される。電力は停泊中の船舶のバッテリーの充電に用いられる他、比較的小型の船舶の推進にも利用される。再生可能な電力が水素の製造に用いられ、製造された水素は主機及び補機の動力としての燃料電池の燃料源となる。

太陽光や風力等の再生可能エネルギーは、現時点では一般商船の主動力としての代替エネルギー源となる可能性は低い。船舶に搭載された帆、帆、ソーラーパネル等は、気象条件に左右されるため、カーボン排出量削減のための補助的動力として利用される。

1-5. LNG の特徴

LNG はマイナス 162°C で液化した天然ガスである。液体化により体積は 600 分の 1 となり、輸送が容易となる。

天然ガスは無色透明、無臭である。既に多くの都市で都市ガス及び自動車用燃料として用いられている。例えば、スウェーデンでは 35,000 台の車がガス燃料（バイオガス、天然ガス）を使用している。また、天然ガスは製品原料となる石油化学産業だけではなく、食品加工業、製鉄業等の産業で幅広く用いられている。³

天然ガスは石油と同じく化石燃料ではあるが、燃焼過程において排出される二酸化炭素（CO₂）量は石油と比較して約 25% 少ない。ガス燃焼時の炎はクリーンで、媒煙の発生がない。硫黄分はゼロで、NO_x の排出量も低い。

³ <https://www.vikingline.com/en/environment/lng/>

欧州においては、天然ガスは現在エネルギー全体の約 25%を担っている。欧州連合 (EU) は、2050 年までのエネルギー政策の中で、天然ガスを重要エネルギーと位置付けている。

1-6. 船用 LNG 燃料

船用燃料としての LNG の採用は、前述のように SO_x の排出ゼロ、NO_x 及び PM (粒子状物質) 排出の大幅削減、温室効果ガス (GHG) の部分的削減等という環境面における明白な利点がある。

純粋に燃料として LNG を用いる LNG 燃料船の歴史は比較的新しいが、市場では既に幅広い出力範囲の各種ガス焼きエンジンが製品化されており、多くの船舶に利用されている。ガスエンジンには、ガスのみで駆動するエンジンと液体燃料も使用可能な二元燃料 (デュアルフュエル : DF) エンジンがある。GHG の原因として当初問題となったメタンスリップも、最新の 2 ストロークエンジンではほぼ解決されている。

非在来型天然ガス資源であるシェールガスの採取が可能となったことから、特に北米では天然ガス市場に大きな変化が現れている。今後、世界的なシェールガスの生産が進めば、LNG 燃料の利用も更に拡大すると予想される。しかしながら、シェールガスの生産に関しては、水圧破碎という採掘技術による水質や地質、大気等の環境への影響、ひいては人体への影響が懸念されている。

LNG 燃料を使用する新造船は近年増加傾向にあるが、グローバルな SO_x 規制の開始により、まず LNG バンカリングのインフラが比較的整備され、HFO 価格と比べて LNG 燃料価格の競争力の高い海域を航行する中小型船を中心に、LNG 燃料の需要は今後 5~10 年にも拡大すると予想される。

1-7. 化石燃料の埋蔵量

今後の代替燃料の普及には、石油、天然ガスを含む化石燃料の埋蔵量と利用可能年数も関係している。

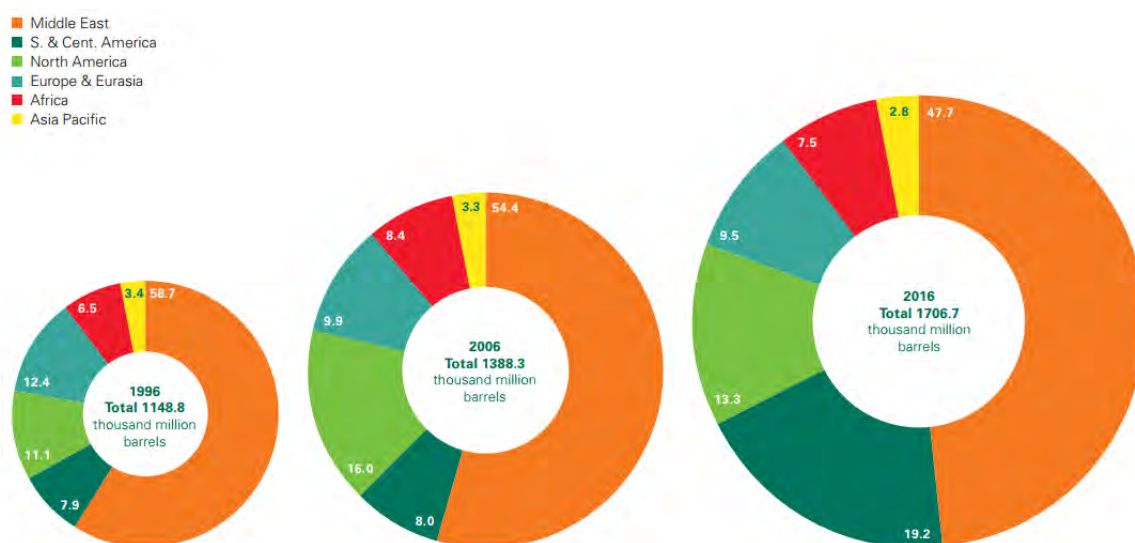
1970 年代には可採年数が残り 30 年と言われていた石油埋蔵量は、採掘技術の進歩により増加傾向にあり、現在の可採年数は 50 年を超えている。下図に示すとおり、過去 20 年間で石油、天然ガスとも埋蔵量は約 50%増加しており、現在の生産レベルと消費レベルが続いた場合、可採年数は今後も増加すると予想される。シェールガスの開発により世界のエネルギー供給量は更に拡大する。

従って、長期的には化石燃料の代替となる新エネルギー源が必要になることは間違いなが、少なくとも短中期的には石油、天然ガスとも安定した供給が可能な埋蔵量があると

考えられる。LNG 燃料は、非化石燃料と必要な技術が確立するまでの過渡的燃料であるとも言える。

石油埋蔵量

2016 年の世界の石油確認埋蔵量は前年比 0.9% 増の 17,070 億バレルで、現在の生産レベルが続いた場合の可採年数は 50.6 年である。2016 年に大きく増産した国は、イラク（100 億バレル）とロシア（70 億バレル）である。OPEC 加盟国が全世界の確認埋蔵量の 71.5% を所有している。⁴



図：石油の地域別確認埋蔵量の推移（%、1996 年、2006 年、2016 年）

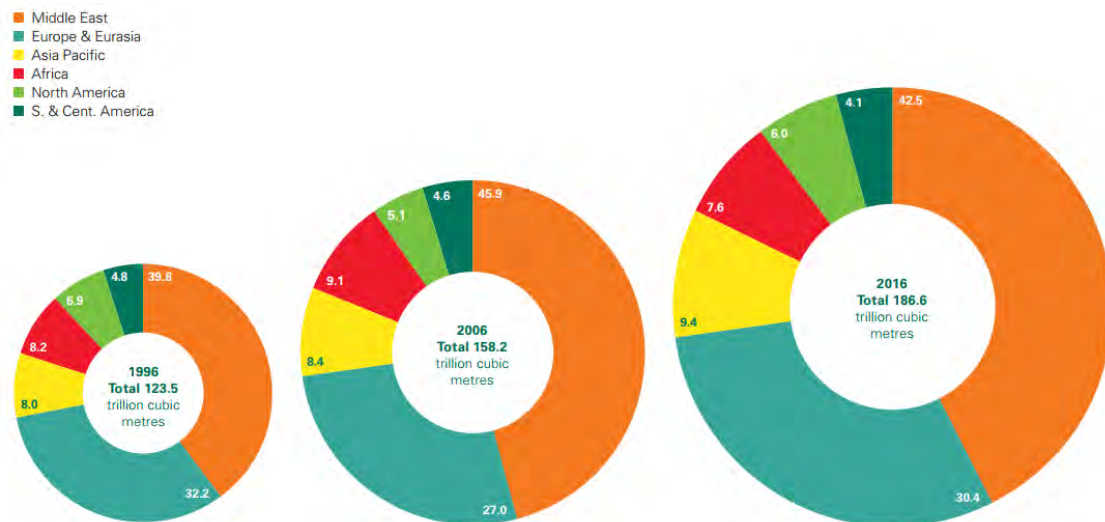
出所：BP Statistical Review of World Energy 2017

天然ガス埋蔵量

2016 年の世界の天然ガス埋蔵量は前年比 0.6% 増の 186.6 TCM で、これは石油と同様に 50 年以上の（52.5 年）可採埋蔵量である。最大の確認埋蔵量を有する地域は中東で全体の 42.5% を占める。最大の埋蔵量を有する国はイランである（18%）。⁵

⁴ BP Statistical Review of World Energy 2017

⁵ BP Statistical Review of World Energy 2017



図：天然ガスの地域別確認埋蔵量の推移（%、1996年、2006年、2016年）

出所：BP Statistical Review of World Energy 2017

2. 排出規制の概要

IMO（国際海事機関）は、1960年代から世界の海運による環境への悪影響の抑制に努めてきた。国際海洋汚染防止条約である通称「MARPOL 条約」の附属書 VI（2005年発効、2008年改正）においては、船舶からの大気汚染防止のための規則を定めている。⁶

2-1. NO_x 排出規制

MARPOL 条約附属書 VI における NO_x 規制は、エンジンの定格出力当たりの NO_x 排出量がエンジンの定格回転数に応じて定められた NO_x 基準値 (g/kWh) を満足することを規定しており、2000年1月1日以降に建造（起工）した新造船に搭載され、定格出力が 130kW を超えるディーゼル機関（非常時のみ使用されるものを除く）に対して適用される。

1次規制 (Tier I)

2008年に採択された改正附属書 VI では、改正以前に適用されていた規制を 1次規制とした。

適用：2000年1月1日以降、2011年1月1日より前に建造（起工）される船舶に搭載されたディーゼル機関に適用される。

規制値：機関の定格回転数 n に応じて、下記の規制値が適用される。

$n < 130$ rpm	17.0 g/kWh
$130 \leq n < 2000$ rpm	$45.0 \cdot n^{-0.2}$ g/kWh
$n \geq 2000$ rpm	9.8 g/kWh

2次規制 (Tier II)

適用：2011年1月1日以降に建造（起工）された船舶に搭載されるディーゼル機関。

規制値：1次規制値より 15.5%～21.8%削減された下記の規制値が適用される。

$n < 130$ rpm	14.4 g/kWh
$130 \leq n < 2000$ rpm	$44.0 \cdot n^{-0.23}$ g/kWh
$n \geq 2000$ rpm	7.7 g/kWh

⁶ <https://www.dieselnet.com/standards/inter/imo.php>

3次規制 (Tier III)

適用：2016年1月1日以降に建造（起工）され、排出規制海域（ECA）を航行する船舶に搭載されるディーゼル機関に適用される。ただし、次の船舶を除く。

- 24m未満のプレジャーボート
- 推進出力の合計が750kW未満で、構造・設計上、適用困難として旗国政府より適用除外を認められた船舶
- 2020年までに起工された、24m以上かつ500総トン未満のプレジャーボート

規制値：ECA内運航時には、1次規制値から80%削減された下記の規制値が適用される。
なお、ECA外航行時には、2次規制値が適用される。

$n < 130$ rpm	3.4 g/kWh
$130 \leq n < 2000$ rpm	$9.0 \cdot n(-0.2)$ g/kWh
$n \geq 2000$ rpm	2.0 g/kWh

NO_x 3次規制が適応されるECAは、現在、北米（米国・カナダの沿岸200海里内の海域、アラスカ西岸等一部海域を除く）及び米国カリブ海（プエルトリコ、米領バージン諸島の大西洋及びカリブ海海域）のみである。

2-2. SO_x 排出規制

MARPOL条約附属書VI発効当初に4.5%以下と定められていた世界的な船用燃料油の硫黄含有率は、2012年1月には3.5%以下に制限された。

また、2005年5月には、硫黄分1.5%以下のECAが導入され、その上限は2010年7月には1.0%、さらに、2015年1月1日には0.1%と大幅に強化された。

SO_x規制が適用されている現行のECAは、バルト海（2006年5月～）、北海（2007年11月～）、北米（米国及びカナダ沿岸、2011年8月～）、米国カリブ海（プエルトリコ及びバージン諸島、2013年1月～）の4海域であり、現時点ではこれらの海域のみに止まっている。

焦点となっているグローバルな0.5%SO_x規制の開始時期に関しては、当初2020年と2025年が提案されていたが、2016年10月のIMO第70回海洋環境保護委員会（Marine Environment Protection Committee : MEPC）（MEPC70）において加盟国の多数の支持により、2020年1月1日開始が正式に決定された。開始時期を2025年に延期することは、純度の低い重油の影響により追加的な570,000人の死に繋がるとされていた。

新規制値は、主機、補機、ボイラーを含む船内で使用される燃料油全てに適用される。ただし、船舶の安全性確保又は人命救助時、船舶又は船内機器が損傷を受けた場合等の緊急時には適用除外を認めている。

船舶は、この規制を満たす低硫黄分燃料油、又は硫黄分を含まない LNG 燃料を使用する必要がある。LNG 燃料使用に関しては、IMO は 2015 年に新規制 IGF コード (International Code for Ships using Gases and other Low Flashpoint Fuels) を採択している。LNG 燃料以外の代替燃料としては、メタノールの利用が考えられる。

新規制を満たさない重油等の燃料油を引き続き使用する場合には、スクラバー等の排ガス洗浄装置を使用し、排ガスをクリーンな状態で大気中に排出しなければならない。この方法に関しては旗国の認可が必要となる。

このグローバル規制は、2015 年 1 月 1 日以来 0.10%規制が適用されている ECA には適用されない。

IMO の調査によると、世界的な 2015 年の船用燃料油の平均硫黄含有率は、残油（重油）が 2.45%、低硫黄分の精製油（軽油）が 0.11%である。

旗国は、船舶が基準を満たす燃料油又はガス燃料を使用、もしくは他の方法により SOx 規制を満たしていることを証明する国際大気汚染防止証書 (International Air Pollution Prevention (IAPP) Certificate) を発給する。燃料油や船舶からの排ガスのサンプル検査を行う場合もある。

IMO は、違反船舶に対する罰金、拘留等の罰則を定めておらず、その決定は各旗国、寄港国等に任されている。

2020 年 SOx 規制の実施方法の詳細に関しては、IMO 汚染防止・対応小委員会 (Sub-Committee on Pollution Prevention and Response : PPR) が 2018 年に引き続き検討を行う予定である。

2-3. 温室効果ガス削減対策

1950 年代以降、世界的に多くの極端な気象及び気候現象の変化が観測されてきた。IPCC 第 5 次評価報告書⁷は、1951 年から 2010 年の世界平均地上気温の観測された上昇の半分以上は、GHG 濃度の人為的増加とその他の人為起源強制力の組合せによって引き起こされた可能性が極めて高いとしている。同時期の世界平均地上気温の上昇に対する GHG の寄与は 0.5~1.3℃の範囲である可能性が高い。⁸

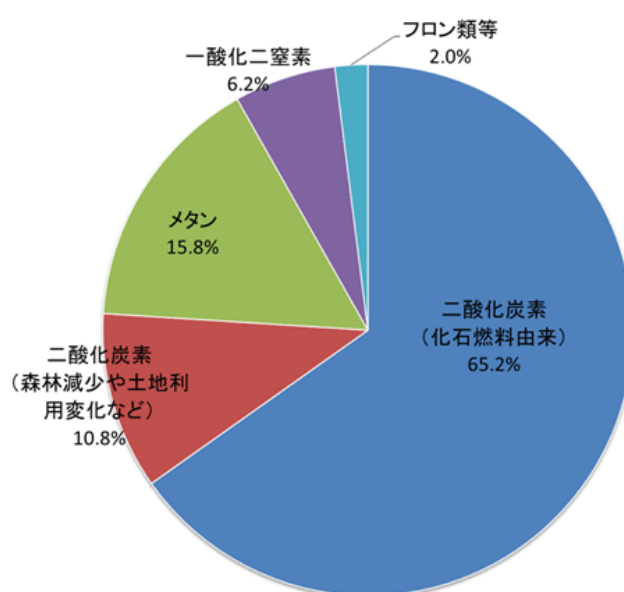
⁷ 国連下部組織の気候変動に関する政府間パネル (IPCC) によって発行された地球温暖化に関する 2013 年報告書

⁸ http://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/ipcc/ar5/ipcc_ar5_wg1_spm_jpn.pdf

このような地球温暖化の原因となる GHG には様々な気体が含まれるが⁹、特に大気中の CO₂、メタン、一酸化二窒素の濃度は産業革命前よりはるかに高く、1750 年以降の人間の活動によって人為的に増加した GHG である。

中でも最も排出量の多い CO₂ は、GHG の換算値としても使用されており、一般的に GHG のほぼ同義語ともなっている。

また、メタンは CO₂ に次いで地球温暖化に及ぼす影響が大きな GHG で、湿地や池、水田で枯れた植物が分解する際に発生する他、天然ガスを採掘時にも発生する。船舶の LNG 燃料燃焼時にもメタンが発生する。



図：人為起源の GHG の総排出量に占めるガスの種類別の割合
(2010 年の二酸化炭素換算量での数値)

出所：気象庁、IPCC 第 5 次評価報告書

大部分の船舶が使用する化石燃料に由来する CO₂ の削減に関しては、国際海運の対応の遅れと IMO による具体的な削減目標値設定の遅れが長らく指摘されてきた。

IMO では、船舶から排出される GHG の削減対策として、新造船の GHG 排出性能を段階的に強化する規制である「エネルギー効率設計指標 (EEDI)¹⁰」、及び効率的な運航方法を管理する「船舶エネルギー効率管理計画書 (SEEMP)」を 2011 年 7 月に採択し、2013 年 1 月 1 日に発効した。これにより、2013 年以降に建造された新造船の効率化を図った。

⁹ 京都議定書における排出量削減対象となっていて、環境省において年間排出量等が把握されている温室効果ガス (GHG) 物質としては、二酸化炭素 (CO₂)、メタン (CH₄)、亜酸化窒素 (N₂O＝一酸化二窒素)、ハイドロフルオロカーボン類 (HFCs)、パーフルオロカーボン類 (PFCs)、六フッ化硫黄 (SF₆) の 6 種類がある。

¹⁰ 新造船の CO₂ 排出量を設計建造段階において「一定条件下で 1 トンの貨物を 1 マイル運ぶのに排出すると見積もられる CO₂ グラム数」としてインデックス化し、船舶の性能を差別化するもの

更なる削減政策の一環として既存船を含めた燃料消費実績の明確化の検討を行ってきた IMO は、2016 年 10 月の MEPC70 において、SO_x 規制開始時期の決定と同時に、船舶からの CO₂ 排出量の削減を目指した燃料消費実績報告制度の導入を決定した。

燃料消費実績報告制度は、総トン数 5,000GT 以上の国際航海に従事する全ての船舶を対象に、運航データ（燃料消費量、航海距離及び航海時間）を IMO に 2019 年から報告する制度で、2016 年 10 月に同制度を導入するための条約改正案が採択された。¹¹

報告対象となる船舶は、2019 年以降に定められたデータを年 1 回、年末に旗国に報告する義務がある。旗国は提出されたデータを検討し、必要条件を満たしている場合には各船舶に対してコンプライアンス認証を発給する。旗国は収集したデータを IMO の燃料消費量データベースに転送し、IMO は MEPC に年間報告書を提出する。各船舶のデータは公開されない。

一方、EU では、IMO に先駆けて同様の報告制度である MRV (Monitoring, Reporting and Verification) 規則が 2015 年 7 月 1 日に発効している。2018 年 1 月以降、EU 及び EFTA 加盟国（ノルウェー、アイスランド）の港に寄港する総トン数 5,000GT 以上の船舶は、船籍に拘わらず、燃料消費量その他のデータを収集・報告する義務がある。船級協会等の認可機関がそのデータを検証し、欧州海事安全局（European Maritime Safety Agency : EMSA）のデータベースに転送する。欧州委員会は、年 1 回（第 1 回は 2019 年 6 月 30 日）報告書を発行する。

EU 及び EU 加盟国は、グローバルな燃料消費実績報告制度を支持しており、IMO の報告制度の発効に伴った MRV 規則の見直しも視野に入れている。

IMO は、2016 年 11 月に発効した、京都議定書以来 18 年ぶりの気候変動抑制に関する国際的合意であるパリ協定¹²を踏まえ、2018 年 4 月の MEPC72 において包括的な短・中・長期的な GHG 削減計画に合意する予定である。IMO は、更に詳細なデータを検討した上で同計画の見直しを行い、2023 年春に最終的な削減対策を発表する予定である。

これまで海運と同様に対応の遅れが指摘されていた航空産業が、CO₂ 排出量を 2020 年水準に抑え、2050 年までには 50%削減するという野心的な目標値を 2016 年 11 月に設定したことも、国際海運業界への圧力を高めている。

¹¹ http://www.mlit.go.jp/report/press/kaiji07_hh_000058.html

¹² 目的は、産業革命前からの世界の平均気温上昇を「2 度未満」に抑えること。加えて、平均気温上昇「1.5 度未満」を目指す。

一方、グローバルな海運産業を代表する業界団体である ICS (国際海運会議所)、BIMCO (ボルチック国際海運協議会)、INTERCARGO (国際乾貨物船主協会)、INTERTANKO (国際独立タンカー船主協会) は、IMO の CO₂ 削減計画に次の目標を含めることを提案している。¹³

- ①国際海運による CO₂年間排出量を 2008 年水準以下に維持する。
- ②2050 年までに国際海運によるトン km 当たりの CO₂平均年間排出量を 2008 年水準から最低 50%削減する。
- ③CO₂削減計画の継続を目指し、2050 年までに国際海運による CO₂年間総排出量を合意されたパーセンテージで 2008 年水準から削減する。

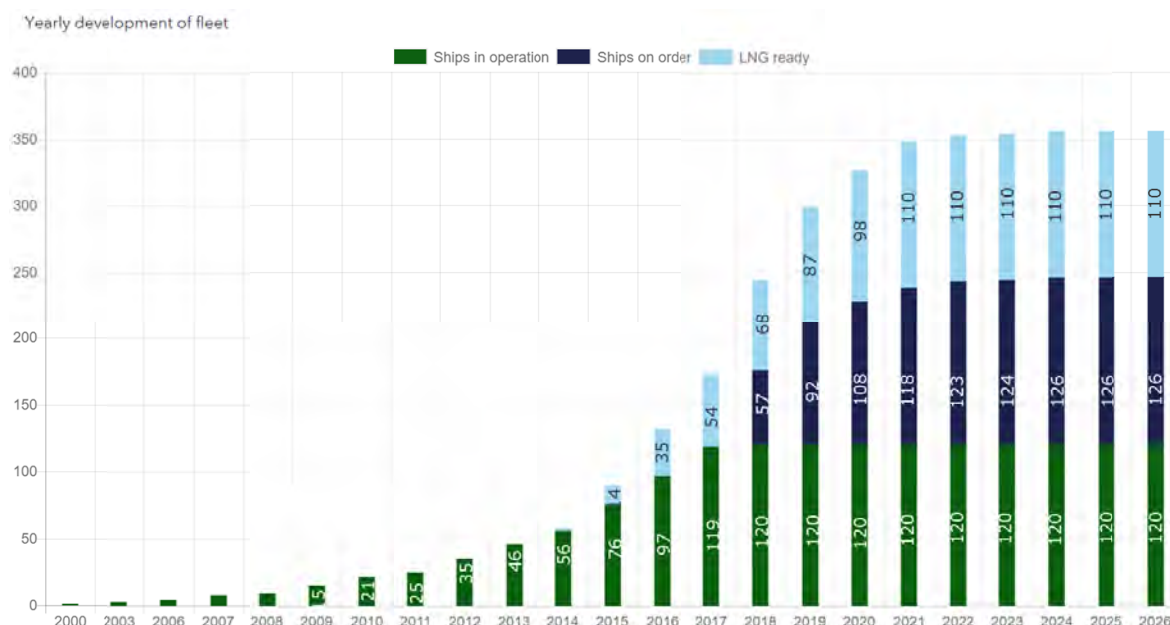
¹³ ICS Press Release Oct 27, 2017

3. LNG 燃料船の就航状況

3-1. LNG 燃料船の隻数推移と地理的分布

DNV GLによると、2018年2月現在、世界で就航中のLNG燃料船は120隻、及び126隻が発注済みである。これに加え、将来的なLNG燃料の採用が可能な設計である「LNG Ready」船110隻が建造中又は建造予定である。

このように、LNG燃料船は既に確立した市場を持つ技術であるが、近年の燃料油価格の低さやグローバルなLNGバンカリングインフラの整備の遅れ等の要因により、LNG燃料船の普及速度は当初の予想よりも遅い。例えば、2012年時点においてDNV GLは、2020年までに1,000隻前後のLNG燃料船が就航していると予測していたが、直近（2018年2月）の数字は325隻程度と予想を大きく下回っている。



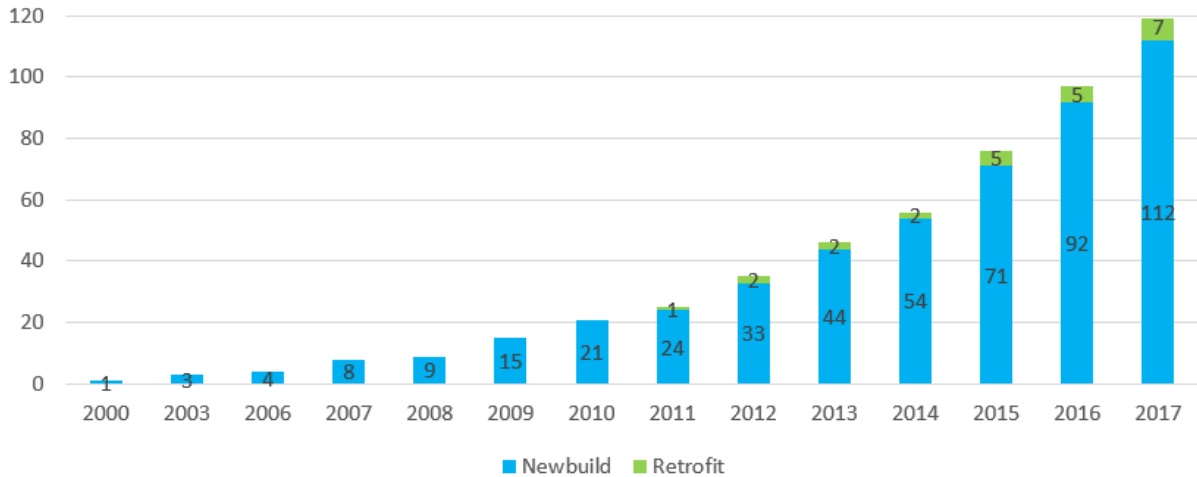
図：LNG燃料船の隻数推移：2000年～2026年

（就航隻数、発注済み隻数、LNG ready 隻数、以上の合計、2018年2月現在）

出所：DNV GL

注：LNG 運搬船及び河川船を除く。

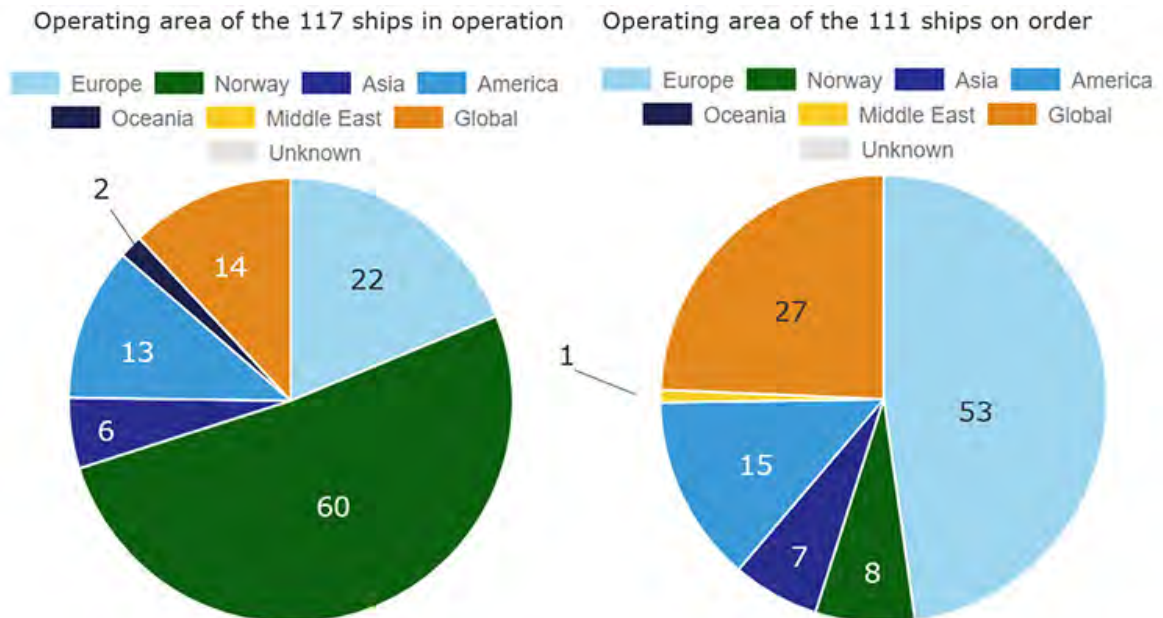
また、2018年2月現在就航中のLNG燃料船における新造船とレトロフィットの割合は、下図のとおりである。近年レトロフィットも増加傾向にはあるが、依然として大多数は新造船で、LNG燃料技術は新造船への採用が適した技術であることが分かる。



図：就航中の LNG 燃料船における新造船とレトロフィットの推移（隻数、2000～2017 年）

出所：DNV GL

就航中及び発注済みの LNG 燃料船の運航海域の地理的分布は、下図のとおりである。初期の LNG 燃料船はノルウェーと欧州を中心に増加し、現在、就航船に関してはノルウェーが過半数を占める 60 隻、ノルウェー以外の欧州が 22 隻、即ち欧州海域全体で全体の 7 割と多数を占めている。一方、発注済み船に関しては、ノルウェーは大きく減少し 8 隻、その他の欧州が 53 隻と逆転しているが、依然として過半数が欧州海域に就航予定である。また、グローバルな海域を運航する船舶については、就航船 14 隻に対して発注済み船 27 隻と大きく増加している。



図：LNG 燃料船の地理的分布（左：就航中、右：発注済み）

出所：DNV GL

発注される LNG 燃料船は大型化しており、運航海域も拡大している。フランスの大手コンテナ船社 CMA CGM が発注済みの超大型コンテナ船 9 隻は 2020 年に竣工し、アジアと欧州間に就航する予定である。2020 年と 2022 年に竣工予定のクルーズ船社 Carnival Cruise Line の LNG 燃料クルーズ船 2 隻は、北米をベースとしたクルーズを行う。

世界的な LNG 燃料船の普及には、規制の強化に加え、環境意識の高い消費者からの社会的圧力と企業イメージも関係している。

世界的な大企業である Unilever、IKEA、Volkswagen 等は、自社製品の輸送には出来る限り環境に優しい手段を選ぶと述べている。例えば、2016 年 1 月、Unilever は、輸送手段を LNG 燃料を使用するトラックや船舶にシフトしていく対策を発表している。同様に、2016 年 10 月には、Volkswagen Group が、2019 年から Siem Car Carriers 社の新造 LNG 燃料自動車運搬船 2 隻をチャーターする計画を発表した。¹⁴

3-2. LNG バンカリング

LNG 燃料船の普及に不可欠な LNG バンカリングインフラの整備も、グローバルなスケールで加速している。現在、大部分の LNG 燃料船が運航する欧州以外でも、シンガポール、中東、カリブ海等に約 60 か所の LNG バンカリング施設が稼働している。更に 26 施設の建設が決定済みで、36 か所以上の施設の建設が検討されている。

LNG 燃料の船舶間 (ship-to-ship) 補給に関しては、2018 年初頭時点において、世界では 6 隻の LNG バンカリング船が運航しており、4 隻が発注済みである。さらに、Total、Royal Dutch Shell、Gas Natural Fenosa、ENN、Statoil 等のエネルギー大手企業が、LNG バンカー船の新造計画を発表しており、近い将来には欧州北部、中東、メキシコ湾、シンガポール、地中海における船舶間 LNG バンカリングが加速すると予想される。

LNG バンカリング企業は、既に LNG 燃料船の普及が進む海域への設備投資に焦点を当てて一方、未整備の海域においては、競合他社に先駆けた参入者としての市場確保を狙っている。例えば、英国 Shell は、2017 年に 4,000m³型 LNG バンカーバージの長期用船契約を締結し、アメリカ東海岸において増加する LNG 燃料クルーズ船への LNG バンカリングを中心に行う計画である。¹⁵

さらに、2018 年 2 月には、フランス Total の子会社 Total Marine Fuels Global Solutions (TMFGS、本社：シンガポール) と商船三井が、中国滬東中華造船で 2020 年に竣工予定の世界最大の 18,600m³型 LNG バンカー船の長期用船契約を締結した。TMFGS 社は、2017 年 12 月に CMA CGM 社と同社の 22,000TEU 型 LNG 燃料メガコンテナ船向けに年間 30 万トンの LNG 燃料を 10 年間にわたり供給する契約を締結しており、新造大型バンカー船

¹⁴ <https://sea-lng.org/lng-as-a-marine-fuel/shipping-and-consumer-pressure/>

¹⁵ DNV GL

を主にこの LNG 燃料コンテナ船隊へのバンカリングに投入する計画である。LNG バンカー船は商船三井の英国子会社 MOL (Europe Africa) Ltd が管理を行う。同時に、Total と商船三井は、LNG バンカリングインフラ整備でも協力を行っていく。¹⁶

船舶の LNG 燃料の採用促進を目指すマルチセクター業界団体 SEA\LNG は、世界の主要バンカリング港 10 港のうち 9 港が 2020 年までに LNG バンカリングを開始する、又は開始計画を持つとしている。また、世界の主要貿易ターミナル港 25 港のうち 24 港は近くに既存 LNG ターミナルがあり、今後の投資促進により 2020 年までには主要港湾における LNG バンカリングが可能となる。

LNG 燃料の利用と安全な取扱いを促進する非政府組織 Society for Gas as a Marine Fuel (SGMF) は、現時点では LNG 燃料を利用する船舶は全体の 0.2%に過ぎないが、船用 LNG 燃料に関する規制の明確化と安全な取扱いに関する水準の確立により、今後 5～7 年以内に LNG 燃料が船用燃料の主流オプションとなる可能性があると述べている。¹⁷

また、エネルギー企業 Exxon Mobil は、2016 年時点で船用燃料の 1%に過ぎない LNG 燃料は、2040 年までには 10%を占めると予測している。¹⁸

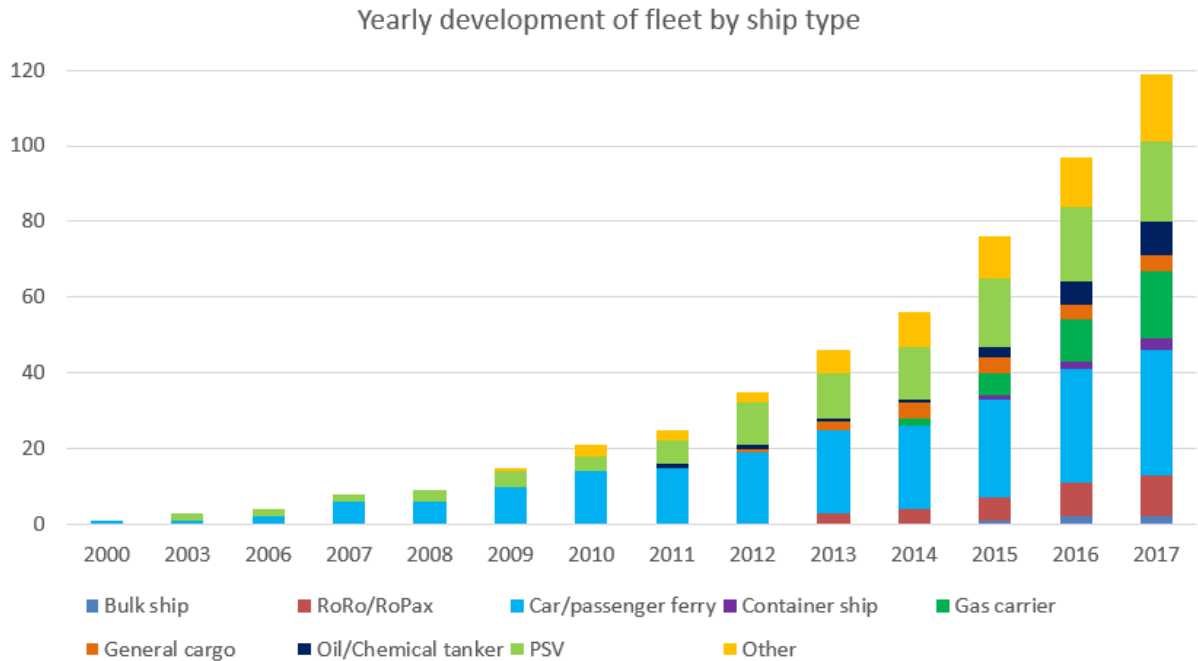
3-3. LNG 燃料船の船種の多様化

船種別に見ると、現在就航中の LNG 燃料船はカーフェリーと旅客フェリーが最も多く、プラットフォーム補給船がそれに続く。発注済みの LNG 燃料船の船種は、石油／ケミカルタンカー、コンテナ船、クルーズ船が大部分を占めている。

¹⁶ Total press release, February 06, 2018

¹⁷ <https://www.dnvgl.com/article/uptake-of-lng-as-a-fuel-for-shipping-104195>

¹⁸ <https://www.bloomberg.com/news/articles/2017-01-12/ports-chase-natural-gas-boost-as-marine-emissions-rules-tighten>



図：LNG 燃料船の船種別就航隻数の推移（2000～2017年）

出所：DNV GL

3-4. LNG 燃料船の船種別実例

以下に、近年に建造又は計画中の注目すべき主な LNG 燃料船の船種と新造船の概要、及び LNG 関連機器システムや LNG バンカリングの概要を述べる。

3-4-1. クルーズ船

MSC「World Class」シリーズ

スイスに本社を置く大手クルーズ船社 MSC Cruises によると、世界の全人口の 5%がクルーズ船による旅の経験があり、その数は増加傾向にある。停滞気味の海事産業の中で、クルーズ船市場は好調である唯一の市場である。

2017年11月現在、世界の500隻の建造予定船のうち10%がLNG燃料船である。同社は、LNG燃料を選ぶ理由は、スクラバーのレトロフィットのスペースを確保するよりも、最初からLNG燃料船を新造する方が効率的であると述べている。

13隻のクルーズ船を保有・運航するMSC社は、90億ユーロ規模の新造投資を行っており、2023年までには10隻の新造メガ・クルーズ船を市場投入する計画である。新造クルーズ船のうち4隻はLNG燃料を使用する。

同社が、2017年6月にフランス造船所 STX France に発注した LNG 燃料新造クルーズ

船 2 隻は「World Class」シリーズ（全長 330m、全幅 47m、総トン数 200,000GT）と呼ばれ、2022 年と 2024 年に引渡し予定である。更に 2 隻がオプション発注され、2025～2026 年に引渡し予定である。



図：MSC「World Class」クルーズ船の完成予想図

出所：MSC Cruises

LNG 燃料を使用するクルーズ船の大きな課題は、乗客の快適性を損なうことなく、安全迅速に LNG バンカリングを行うことである。MSC は、クルーズ船特有の要求を満たす独自のバンカリングシステム「ARTA ダブルバリアシステム」を開発した。自動車技術を活用した安全性の高い同システムにより、バンカリング作業中の危険範囲は 25m から 4.5m に縮小された。

LNG バンカリング：Carnival と Shell の合意

クルーズ船社にとっては、増加する LNG 燃料クルーズ船の航海中における安定した LNG 燃料の確保が課題となっている。2017 年 11 月には、米国大手クルーズ船社 Carnival Corporation と Shell は、Carnival が 2020 年と 2022 年に就航を予定している、北米を母港とする 180,000 総トン級 LNG 燃料クルーズ船 2 隻に対する LNG バンカリングに関する合意を締結した。

この合意により、Shell は、Q-LNG Transport 社からチャーターする、米国造船所 VT Halter Marine において建造予定の ATB LNG バンカリングバージを用い、同クルーズ船 2 隻に米国東海岸南部海域において LNG 燃料を供給する。同バンカリングバージは、4,000m³の容量を持つ。

Carnival と Shell は、欧州において既に LNG バンカリングで協力を行っている。Carnival の欧州子会社である AIDA Cruises のクルーズ船「AIDAprima」は、2016 年 4 月、停泊中に LNG 燃料を使用する世界初のクルーズ船となった。

さらに、2016 年秋には、両社は Carnival の子会社である AIDA Cruises 及び Costa Cruises がそれぞれ 2018 年と 2019 年に就航を予定している、世界初の完全 LNG 燃料クルーズ船 2 隻への LNG バンカリングにも合意した。

また、Carnival は、2015 年には他社に先駆けてハンブルク港に停泊中のクルーズ船「AIDA Sol」に対して、LNG ハイブリッドバージからの電力供給を開始している。

Carnival は、欧州子会社 AIDA、Costa、P&O 向けに LNG 燃料クルーズ船 7 隻をドイツ造船所 Meyer Werft とフィンランド造船所 Meyer Turku に発注済みで、2018 年から 2022 年にかけて順次就航の予定である。

Carnival と Shell との基本合意により、Carnival の各子会社は、今後、新造クルーズ船又は新規航路において Shell と LNG 燃料のバンカリングに関する交渉を行うことが可能となる。¹⁹

ハイブリッド氷海クルーズ船

2017 年 12 月、フランスのクルーズ船社 Ponat は、大容量バッテリーを搭載した LNG 電気ハイブリッド推進システムを持つ氷海クルーズ船を、砕氷船建造で豊富な実績のあるノルウェー造船所 Vard に発注した。同船は、北極海と南極海の航行が可能な極海仕様 PC2 船級を持つ初の LNG 燃料クルーズ船となる。

フィンランド Aker Arctic とフランス Sterling Design International が設計を担当する同船は、ルーマニア造船所 Vard Tulcea で船体が建造され、ノルウェー Vard Søviknes が艤装を行う。引渡しは 2021 年上半期に予定されている。建造価格は 270 億ノルウェークローネ（2 億 7,400 万ユーロ）である。

同船は全長 150m、全幅 28m、総トン数 30,000GT で、クルーズ速度は 15 ノットである。キャビン数は 135 室、乗客数は 270 人である。推進システムは、Wärtsilä の DF エンジンが最大級の ABB Azipod を駆動する。フランスの LNG 貯蔵システムメーカー GTT が 4,500m³型 LNG 貯蔵システムを供給する。船級は Bureau Veritas、船籍はフランスである。

¹⁹ Marinelog, November 8, 2017



図：Ponant 氷海クルーズ船の完成予想図

出所：Ponant

クルーズフェリー

フィンランドに本社を置くクルーズフェリー船社 Viking Line は、2013年1月、ストックホルム（スウェーデン）ートゥルク（フィンランド）間航路に世界初の LNG 燃料クルーズフェリー「Viking Grace」を就航させた実績を持つ。フィンランド造船所 STX Europe で建造された同船は、既に 500 万人以上に利用されている。

2017年4月、Viking Line は、「Viking Grace」に続く LNG 燃料クルーズフェリーを中国厦門船舶重工に新造発注した。契約価格は約 1 億 9,400 万ユーロで、2020 年に引渡し予定である。新造船開発プロジェクトにはフィンランド企業を中心とした北欧企業が参加している。インテリアデザインも北欧企業が担当する。

新造クルーズフェリーの全長は 218m、総トン数 63,000GT、旅客数 2,800 人、1,500m の貨物レーンを持つ。同船は、「Viking Grace」と同様にストックホルムートゥルク間航路に投入される。²⁰

²⁰ Viking Line



図：Viking Line 新造クルーズフェリーの完成予想図

出所：Viking Line

新クルーズフェリーは、「Viking Grace」と同様に、Wärtsilä の DF エンジンが搭載される。主に LNG 燃料で駆動する Wärtsilä 31DF エンジン 6 基が搭載され、XO 2100 型 ABB Azipod ユニット 2 基を駆動する。同船は Wärtsilä 31 エンジンの DF バージョンの初の船用利用となる。フィンランドで設計、製造される Azipod XO ユニットは、氷海仕様ノーテーション「1A Super」を持つ。

フィンランドに本社を置く Wärtsilä は、主機とともに他の機器システムをパッケージ受注している。主なシステムは、LNG 燃料貯蔵供給システム LNGPac、Compact Silencer System (CSS)、バウスラスタ、バラスト水処理システム、統合航海システム Nacos Platinum である。Nacos Platinum には、海象条件を分析して安全で効率的な航路を予測する Wärtsilä SmartPredict システムが搭載される。

3-4-2. カーフェリー (ROPAX 船)

Rederi AB Gotland：世界初の新造高速 ROPAX フェリー2 隻

スウェーデン本土の Nynäshamn 及び Oskarshamn とゴットランド島 Visby を結ぶ高速 ROPAX フェリー4 隻を所有するスウェーデン船社 Rederi AB Gotland は、LNG 燃料フェリーとしてはスウェーデン初、LNG 燃料高速フェリーとしては世界初となる ROPAX フェリー2 隻を、中国 Guangzhou Shipyard International Company Limited (GSI、広船国際) において建造中である。契約船価は 1 隻 10 億スウェーデン・クローナ (約 1 億 3,500 万ドル) と報道されている。²¹

デンマーク OSK-ShipTech A/S と GSI が共同で設計し、「VISBORG」、「THJELVAR」と命名された全長 200m の 4,800DWT 型フェリー2 隻は、乗客数 1,650 人、車両レーン 1,750m を持つ世界最大級の LNG 燃料高速 ROPAX フェリーである。船級は DNV GL で

²¹ <https://www.lngworldnews.com/gotland-of-sweden-orders-second-lng-ferry/>

ある。

新造フェリー2隻は、2003年に同じく GSI で建造された既存 ROPAX フェリー「Visby」及び「Gotland」よりも載貨重量が 1,200DWT 大きい、OSK-ShipTech は、新設計により燃費は大きく改善していると述べている。²²

同船型は、主機 Wärtsilä 50DF 型エンジン 4 基がギアボックス 2 基を経由して可変ピッチプロペラ 2 基を駆動する。また、LNG 燃料処理システム一式を「LNGPac」として供給する。その他、Wärtsilä がパッケージ受注した機器・システムには、1 隻につき Wärtsilä 20DF 型補機 4 基、ラダー 2 基、トンネルスラスタ 2 基、バラスト水処理システム 1 基等がある。²³



Rederi AB Gotland : 新造 ROPAX フェリーの完成予想図

出所 : Maritime Connector

2018 年に予定されている新造フェリー就航に先駆け、2018 年 1 月には、Rederi AB Gotland は、ハンブルクの船用 LNG 燃料供給企業 Nauticor と新造フェリーへの LNG バンカリングに関する契約を締結した。LNG バンカリングは、Nauticor の子会社 AGA が、親会社 Linde Group が所有する Nynäshamn の LNG ターミナルにて行う。²⁴

英国 : CMAL

2017 年 11 月、英国グラスゴーの造船所 Ferguson Marine Engineering Limited (FMEL) が、新造カーフェリー「Glen Sannox」を竣工した。同船は、英国の造船所が建造する初の DF 船シリーズ 2 隻の第 1 船である。契約額は約 9,700 万ポンドである。

²² http://www.golng.eu/en/news_/worlds-most-powerfullng-ferry-for-gotland-16863.html

²³ Wärtsilä

²⁴ <http://www.ferryshippingnews.com/tag/lng/>

2018 年末と 2019 年に引渡し予定の全長 102.4m、全幅 17m、載貨重量トン数 1,273DWT の新造カーフェリー 2 隻は、Caledonian Maritime Assets Limited (CMAL) が、英国北部アードロッサンとブロードィック（アラン島）を結ぶ航路において運航する。積載能力は車両 127 台、乗客 1,000 人である。

同シリーズの推進システムは、Wärtsilä がパッケージ受注している。主機は 6 シリンダー型 Wärtsilä 34DF エンジン、補機は Wärtsilä 20DF エンジンで、推進システムにはギアボックス、シャフト、シール、ベアリング、可変ピッチプロペラ (CPP) を含む。その他、推進・操縦システム Wärtsilä Energopac、トンネルスラスタ、LNG 貯蔵供給システム Wärtsilä LNGPac も同時に受注した。



図：CMAL カーフェリーの完成予想図

出所：Ferguson Marine Engineering Limited

スペイン：Baleària

2017 年 3 月、スペインの大手フェリー船社 Baleària は、スペイン初の LNG 燃料フェリー「Abel Matutes」（全長 190m、乗客数 900m、車両レーン 2,235m）の運航を開始した。バルセロナ港とマヨルカ島のパルマ港間を定期運航する同船は、Baleària、バルセロナ港、パルマ港、バルセロナ市、カタロニア州、エネルギー企業 Gas Natural Fenosa 等が、EU 主導プロジェクト「CLEANPORT」の一環として、地中海沿岸における LNG 燃料の普及を目的に開発、建造したものである。



Baleària カーフェリー「Abel Matutes」

出所：Gas Natural Fenosa

現在、Baleària は、「Abel Matutes」に続く LNG 燃料フェリー2 隻の建造をイタリア造船所 Cantiere Navale Visenti において進めている。高環境性「スマートシップ」2 隻のうち第 1 船「Hypatia de Alejandria」は 2019 年初頭に就航の予定である。

Baleària は、LNG 燃料の使用により、PM 及び硫黄分の排出量がゼロとなる利点に加え、CO₂ 排出量を 30%、NO_x 排出量を 30%削減できるとしている。また、ソーラーパネルや LED を利用して環境に優しい省エネを図る。

全長 186.5m、乗客数 810 人、車両レーン 2,100m、最高速力 24 ノットの新造フェリーは、出力 20,600kW のエンジンを持つ。2 隻への投資額は 2 億ユーロである。

乗客への新サービスとしては、持ち込みペットのビデオ監視、船内サービスへのモバイルアクセス、デジタルエンターテインメント等を提供する。

LNG バンカリングに関しては、既に Gas Natural Fenosa と 10 年契約を締結し、LNG 燃料を確保している。²⁵

3-4-3. タグボート

2017 年 5 月、スペイン造船所 Astilleros Gondan は、欧州で建造された初の DF エンジンタグボートとなる「Dux」を竣工した。

²⁵ Marinelog, January 18, 2018



図：DF エンジンタグボート「Dux」

出所：Astilleros Gondan

ノルウェー船社 Østensjø Rederi A/S 所有の同船は、カナダ Robert Allan Ltd.設計の新造タグボートのシリーズ 3 隻の第 1 船である。全長 40.2m、全幅 16m、乗員 8 人、速力 15 ノットのタグボートは、バレンツ海 Melkøya に位置するノルウェー Statoil のターミナルに配置され、ノルウェー北部の零下 20 度という過酷な気象状況下でも使用可能な設計となっている。

同シリーズのエンジンは DF 仕様であるが、燃料としては主に LNG を使用し、IMO の NOx 3 次規制を満たす。また、ディーゼル燃料はオペレーションの柔軟性と安全性を高める。

同シリーズは、年間 300 回の LNG 運搬船エスコート業務を行う他、牽引、消火、油濁処理等の緊急活動も行う。²⁶

3-4-4. 調査船

ドイツ造船所 Fassmer で建造中のドイツ連邦海運水路庁 (BSH) の新調査船「Atair II」は、2020 年に就航予定である。

全長 74m、全幅 17m、喫水 5m の「Atair II」は、1987 年に就航した調査船「Atair」の代替船で、政府機関が所有する世界初の LNG 燃料調査船である。乗員 18 人と調査員 15 人分の居住スペースを確保したドイツ政府最大の調査船となる。

²⁶ Marinelog



図：LNG 燃料調査船「Atair II」の完成予想図

出所：Marinelog

同船は、北海、バルト海における海洋環境調査の他、水路調査、海難調査等を行う。また、航海機器、レーダー機器等の技術試験も行う。

2017年5月には、ノルウェーKongsbergが電気機器、水路調査システム、通信システム、DPシステム、自動化システム、セキュリティ CCTV システム、モーター、スラスタ、ケーブル等のエンジニアリング、調達、建造、設置契約をパッケージ受注した。

また、2017年7月には、Wärtsiläが、6シリンダー型 Wärtsilä 20DF エンジン 2基、6シリンダー型 Wärtsilä 20 エンジン 1基、排ガス後処理装置 (SCR) 2基、LNG 貯蔵供給システム Wärtsilä LNGPac を受注した。LNG 燃料、液体バイオ燃料、重油 (HFO)、軽油 (LFO) の使用が可能な多元燃料型 Wärtsilä 20DF エンジンの最大出力は 1,110kW である。

LNG 貯蔵タンクの容量は 130m³で、10日間の LNG 燃料オペレーションが可能である。SCR は、長期連続オペレーションにより LNG 燃料が不足し、ディーゼル燃料を使用する場合のみに用いられる。

同船は、IMO の NO_x 3次規制、及び微粒子排出に関する米国 EPA Tier IV 規制、ドイツ政府の高環境性製品水準「Blue Angel」を満たす。また、同船は、エンジンのダブル弾性支持により静音性が高く、DNV GL の「SILENT R」認証を取得する予定である。²⁷

²⁷ <http://www.ship-technology.com/projects/atair-ii-research-vessel/>

3-4-5. 貨物船

Nor Lines 沿岸貨物船

2015年、ノルウェー船社 Nor Lines が中国産産業重機で建造した LNG 燃料沿岸貨物船シリーズ「Kvitbjorn」と「Kvitnos」が就航した。第1船の新造船「Kvitbjørn」は、中国江蘇からシンガポールを経由し、インドとスペインで LNG 燃料を補給しながらノルウェーのベルゲンに到着し、2015年3月時点における LNG 燃料のみを使用した航海の最長記録を達成した。²⁸

一般貨物船である両船は、全長 119.95m、全幅 20.8m、載貨重量トン数 5,000DWT、トラック 200 台分に相当する貨物積載能力を持つ。Rolls-Royce の革新的ウェーブピアシング船型「NVC 405 Environship」設計を採用した初の商船で、同社の LNG 焚きのピュアガスエンジン Bergen B35:40 が同社のラダーとプロペラを組み合わせた推進システム Promas を駆動している。Rolls-Royce によると、同船型は同等のディーゼル燃料船と比較して CO₂ 排出量が 40%低減される。

ノルウェー、オランダ、ドイツ海域を運航する両船は、数々の産業賞を受賞した。2017年7月、Nor Lines はオランダ船社 Samskip に買収されたが、Samskip は従来燃料船に比べてエネルギー効率が 65%向上した両船を自社船隊に組み込むことも買収目的の一つであると述べている。²⁹



図：Nor Lines 沿岸貨物船

出所：Nor Lines

²⁸ <https://www.lngworldnews.com/rolls-royce-gas-engines-mv-kvitbjorn-make-history/>

²⁹ <https://www.samskip.com/news/samskip-makes-major-norwegian-acquisition-with-nor-lines-takeover>

欧州最大の RORO 沿岸貨物船「Celine」

2017 年 10 月、欧州最大の RORO 沿岸貨物船「Celine」が就航した。韓国現代尾浦造船で建造された全長 234m、全幅 35m、総トン数 74,300GT の同船は、ベルギー船社 Cobelfret の子会社 Compagnie Luxembourgeoise de Navigation (CLdN) が所有し、欧州大陸北部、英国、アイルランド間を運航する。

推進システムとして、MAN の 9 シリンダー、ボア 600mm、出力 18,600kW の ME シリーズ 2 ストロークエンジン 1 基が Rolls-Royce の可変ピッチプロペラを駆動する同船の特徴は、将来的な LNG 燃料使用に備えた DNV GL「LNG Ready」認証を取得していることである。³⁰

Polaris Shipping : 「LNG-Ready」設計のばら積み貨物船 10 隻

2017 年 9 月、韓国船社 Polaris Shipping は、韓国現代重工に契約総額 8 億ドルで 325,000DWT 型ばら積み貨物船（超大型鉱石運搬船：VLOC）10 隻を新造発注した。引渡しは 2021 年 4 月に開始される。現代重工にとっては、今回の超大型鉱石運搬船（VLOC）10 隻の受注は、2012 年のギリシャ船主向け大型コンテナ船 10 隻以来の大型受注である。

全長 340m、全幅 62m の同船隊は、今後の環境規制強化を視野に、将来的に主機の LNG 燃料タイプへの改造が可能な「LNG Ready」設計となっている。環境対応システムとしては、バラスト水処理装置とスクラバーを搭載する。³¹

Project Forward : LNG 燃料カムサマックス型ばら積み運搬船開発プロジェクト

2013 年～2015 年には、ギリシャ船社 Arista Shipping が出資し、82,000DWT カムサマックス型ばら積み運搬船への LNG 燃料導入に関する共同研究開発プロジェクト「Project Forward」が実施された。同プロジェクトには、ばら積み運搬船を運航する Arista Shipping の他、船級協会 ABS、設計企業 Deltamarin、ガスタンク企業 GTT、エンジンメーカー Wärtsilä、エネルギー企業 Shell が参加し、それぞれの専門分野を活かして新船型を開発した。

同船型は、二段過給システムを搭載した 4 ストローク Wärtsilä 31DF 型中速主機 2 基が、可変ピッチプロペラ 1 基を駆動する。通常使用される補機 3 基を設置する必要がないため、初期コストとメンテナンスコストが低く、安全性が高い。船内スペースの冗長性も高まる。ばら積み運搬船の船型にこのコンフィギュレーションが採用されるのは初めてである。

³⁰ Motorship

³¹ <https://www.lngworldnews.com/hhi-to-build-10-lng-ready-vlocs-for-polaris-shipping/>

GTT のメムブレ型 LNG 燃料タンクは、バンカリング間隔が 40 日間以上で、1 回のバンカリングで 12,000 海里を航海可能な容量である。

開発された船型は 82,000DWT 型ばら積み運搬船を想定しているが、他の大きさのばら積み運搬船への応用が可能である。³²



LNG 燃料カムサマックス型ばら積み運搬船のイメージ図

出所：Arista Shipping

3-4-6. 自動車運搬船

2016 年 10 月、Volkswagen Group は、2019 年以降、欧州北米間の車両運搬用にノルウェー Siem Car Carriers の LNG 燃料自動車運搬船 2 隻をチャーターする計画を発表した。両船は、全長 200m、全幅 36m、車両 4,500 台の積載能力を持つ世界最大の LNG 燃料自動車運搬船となる。

中国厦門船舶重工で建造される両船は、3,000m³ の LNG タンクを甲板下部に設置し、従来の自動車運搬船と同等の積載能力を持つ。主機としては、出力 12,600kW の MAN Diesel & Turbo の 2 ストローク低速 DF エンジンを搭載する。LNG 燃料システムの設計と供給は、中国 Gloryholder LGM が担当する。

2017 年 10 月には、Siem Car Carriers と Shell の子会社 Shell NA LNG 及び Shell Western LNG は、欧州と北米における LNG バンカリングに関する契約を締結した。³³

³² <https://worldmaritimeneews.com/archives/194089/abs-partners-to-develop-lng-fueled-dry-bulker/>

³³ LNG World News



図：Siem Car Carriers LNG 自動車運搬船の完成予想図

出所：Volkswagen

3-4-7. コンテナ船

CMA CGM の新造コンテナ船 9 隻

2017 年 11 月、CMA CGM は、国連気候変動枠組条約締約国会議（COP23）の開催と合わせて、同社の 22,000TEU 型新造コンテナ船 9 隻を LNG 燃料船とする計画を発表した。このような超大型コンテナ船の LNG 燃料化は、グローバルな LNG 燃料の船用利用の促進に大きく寄与すると考えられている。

CMA CGM は、新造 LNG 燃料コンテナ船は、従来燃料油駆動のコンテナ船と比較して、CO₂ 排出量を 25%削減、硫黄排出量を 99%削減、粒子状物質を 99%削減、NO_x 排出量を 85%削減し、EDDI を 20%改善すると述べている。

全長 400m、全幅 61.3m の超大型コンテナ船は、中国船舶工業集团公司（China State Shipbuilding Corporation：CSSC）の造船所 2 か所で建造され、2020 年に竣工予定である。

主機としては、スイス Winterthur Gas & Diesel Ltd (WinGD) の 12 シリンダー型 WinGD X92DF 低速エンジンを搭載する。同エンジンは、回転数 80rpm、出力 63,840kW を持つ業界最大の DF エンジンである。³⁴

LNG システムは、フランス Gaztransport et Technigaz SA (GTT) が設計を担当する。

³⁴ Ship & Bunker

LNG タンクの容量は 18,000m³ である。新造コンテナ船の船級は Bureau Veritas が付与する。

2017 年 12 月には、CMA CGM は、Total の子会社 Total Marine Fuels Global Solutions と、2020 年以降 10 年間に年間 300,000 トンの LNG バンカリングに関する合意を締結したと発表した。2018 年 2 月には、Total は、商船三井と 2020 年に竣工予定の 18,600m³LNG バンカー船の長期用船計画を締結し、両社は LNG バンカリングインフラ整備に関しても協力を行っていく。³⁵

コンテナ船「Wes Amelie」のレトロフィット

2016 年には、世界で初めて既存コンテナ船への DF エンジンのレトロフィットが行われた。

ドイツ政府の補助を受けた同プロジェクトでは、ドイツ船社 Wessels Reederei 所有の 1,000TEU 型フィーダーコンテナ船「Wes Amelie」(151.72m×23.4m、2011 年建造) のディーゼル主機 MAN 8L48/60B に代わり、多元燃料対応型 4 ストローク主機 MAN 51/60DF をレトロフィットした。改造はブレーマーハーフェンの造船所 German Dry Docks で行われた。船級は Bureau Veritas である。

プロジェクトは、MAN Diesel & Turbo、SMB Naval Architects & Consultants、TGE Marine Gas Engineering が協働し、2017 年 9 月に完了した。改造された「Wes Amelie」は LNG 燃料を使用し、北海、バルト海の ECA を運航する。同船は 23 隻の姉妹船を持つ。³⁶

2017 年 10 月 27 日にロッテルダム港で行われた同船への LNG バンカリングでは、所要時間短縮のため、オランダ Titan LNG 社のトラック 2 台が同時に 1 本のホースを経由して LNG 燃料を補給し、計 6 台のトラックが使用された。³⁷

3-4-8. タンカー

Gothia Tanker Alliance : 沿岸タンカー船隊

欧州沿岸タンカー船社の企業連合であるスウェーデン Gothia Tanker Alliance は、LNG 燃料駆動の中型タンカー 2 隻及び小型タンカー 4 隻、計 6 隻のプロダクト/ケミカルタンカーの新造プログラムを進めている。同船隊はスウェーデン/中国の船舶設計企業 FKAB

³⁵ Total press release, February 06, 2018

³⁶ <https://www.ship-technology.com/projects/wes-amelie-container-ship-conversion/>

³⁷ <https://www.lngworldnews.com/titan-lng-bunkers-retrofitted-container-ship-wes-amelie/>

と Furetank が設計し、中国 Avic Dingheng Shipbuilding Ltd. で建造され、2018 年～2019 年に順次竣工予定である。

この次世代 LNG 燃料タンカー船隊は、環境負荷を最小限に止めることを目的として設計されている。LNG を主燃料とし、従来型タンカーと比較して、CO₂ 排出量は 50%削減される。主機は IMO の NO_x 3 次規制を満たす DF エンジンである。港湾における荷役作業中も LNG 燃料を使用し、PM 発生を抑制する。また、ディーゼル補機の使用を軽減するためのバッテリーバックアップを持つ。同船隊は氷海仕様「Ice Class 1A」を取得している。

この次世代 LNG 燃料タンカーのうち、3 隻は Furetank Rederi AB、2 隻は Rederi AB Älvtank、1 隻は Thun Tankers BV が所有する。船隊は Gothia Tanker Alliance 内の Furetank Chartering が管理する。2017 年 10 月には、第 1 船である「Fure Vinga」(16,300DWT) が進水した。³⁸



Gothia Tanker Alliance : LNG 燃料タンカー船隊の完成予想図

出所 : Gothia Tanker Alliance

Furetank : タンカー改造

スウェーデン Furetank Rederi AB は、自社既存タンカーの LNG 燃料船への改造も行っている。前述の新造船プロジェクトと同じく FKAB が設計を担当した。同船は DF エンジンを搭載した Gothia Tanker Alliance 初のタンカーとなった。

EU の支援を受けて 2015 年に行われたタンカー改造プロジェクト「LNG-CONV」では、Furetank 所有のケミカル／プロダクトタンカー「Fure West」(全長 144m、17,557DWT) のディーゼル主機 Caterpillar MaK M 43 C を LNG 焚き 7 シリンダー M46 DF エンジン (シリンダー出力 : 900kW) に改造した。Caterpillar は、DF エンジンに加え、

³⁸ <http://www.gothiatankers.com/newbuildings/>

Taylor-Wharton 社製造の LNG タンク (4.15m×24m、255m³) 2 基を含むガスシステム一式も提供している。³⁹



改造された「Fure West」

出所：Furetank Rederi AB

Teekay Offshore：新造シャトルタンカー船隊

60 ユニット以上のオフショア船及び洋上設備を所有・運航する世界最大のシャトルタンカー船社 Teekay Offshore Partners (本社：バミューダ) は、2017 年 7 月、同社の新「Shuttle Spirit」船型の DF エンジン搭載の 129,220DWT スエズマックス型 DP2 シャトルタンカー 2 隻を韓国サムスン重工に発注した。続いて、同年 11 月には、同船型 2 隻を追加発注した。「Shuttle Spirit」船型は、燃料効率向上と環境負荷低減を念頭に設計されている。

船価合計 2 億 6,500 万ドルの 4 隻の新造タンカー船隊は、2019 年～2020 年に順次竣工し、Statoil が長期用船し、北海で運航する予定である。

³⁹ <https://www.lngworldnews.com/tag/fure-west/>



Teekay Offshore : 新造スエズマックス型シャトルタンカーの完成予想図

出所 : Teekay Offshore

3-4-9. 浚渫船

2017年12月、ルーアン（フランス）のGIE Dragages-Ports社は、サクシオンホッパー型浚渫船「Samuel de Champlain」のDF対応への改造をDamen Shiprepair & Conversionに発注した。全長117m、容量8,500m³の同船は、重油からLNG及びMGO燃料タイプに改造される。

欧州初となる浚渫船のDF対応への改造は、2018年秋にダンケルク（フランス）の造船所Damen Shiprepairで行われる予定である。この改造プロジェクトは、欧州大西洋沿岸を航行する近距離船舶のLNG燃料化を支援するEUプロジェクトの一環である。

Damenは、エンジニアリング、調達、サポートのパッケージを提供する。浚渫船「Samuel de Champlain」の現行の推進システムは、MGO焚きのディーゼル電気推進である。改造プロジェクトでは、発電装置をDF対応モデルに交換し、船内にLNG貯蔵設備を設置する。

2002年建造の同船は、GIE Dragages-Portsが所有する最大の浚渫船で、ナント・サンナザール港を本拠とし、ロワール川河口とセーヌ川河口における浚渫作業に携わっている。

GIE Dragages-Portsは、フランス大西洋沿岸の主要港6港及び地中海沿岸のマルセイユ港において浚渫船7隻を所有・運航している。同社の50%はフランス政府、残りの50%は同7港が所有している。各港は必要に応じて同社から浚渫船をチャーターし、自港の船員を用いて運航する。

同改造プロジェクトには、欧州委員会のイノベーション・ネットワークス・エグゼクティブ局（INEA）がコネクティング・ヨーロッパ・ファシリティ・プログラムを通じて補助金を給付している。

GIE Dragages-Ports は、フランスとスペインの 12 企業・組織で欧州大西洋沿岸及びイギリス海峡において小型船舶の船用 LNG 燃料利用の促進を目指したコンソーシアムを結成し、EU 補助金の給付資格を得た。

「Samuel de Champlain」の改造プロジェクトは、小型船舶への LNG 燃料導入の可能性と有効性を実証することが主な目的である。CO₂排出量の低減とともに、改造による燃料費とメンテナンスコストの低減により、運航コストの最適化を目指す。また、小型船への LNG 燃料利用により、大西洋沿岸の LNG バンカリングインフラの整備を促進することも目的の一つである。



浚渫船「Samuel de Champlain」

出所：Damen

3-4-10. スーパーヨット

LNG 燃料は商船だけではなく、プレジャーボート市場にも拡大する可能性を秘めている。2017 年 11 月、Rolls-Royce は、アムステルダムで開催されたグローバル・スーパーヨット・フォーラム（GSF）において、LNG 燃料駆動の豪華ヨット「Crystal Blue」と支援ヨット「Blue Shadow」を組み合わせたユニークなコンセプトを発表した。

合金又はアルミニウム製の船体を持つ全長 62m の「Crystal Blue」は、Rolls-Royce の LNG 燃料とバッテリーを組み合わせたハイブリッド SAVE-CUBE システムによって駆動される。このシステムでは、LNG 焚きの 16V4000 MTU M65-N エンジンがバッテリーバンクとともに稼働し、停泊中にはエンジンを使用せずに 1MWh の動力を供給する。推進

システムとしては軽量カーボン製 Azipull スラスター2基を搭載し、最大サービス速度 20 ノットを実現する。搭載された DP（自動船位保持）システムが、停泊中にアジマススラスターとバウスラスターを自動制御し、アンカリングの必要がなく必要に応じて船体を回転させる。

「Crystal Blue」には全長 42m の鋼製遠隔操作支援船「Blue Shadow」が並走し、サブライ船、ヘリパッド及び LNG バンカー船として機能する。

「Crystal Blue」は LNG 燃料補給なしに 3,000 海里の航海が可能な LNG タンクを装備しているが、「Blue Shadow」の支援があれば航続距離は 4,400 海里に伸びる。

Rolls-Royce は、クリーンで無臭な LNG 燃料は、環境規制の厳しい海域を航行し、快適性を重視するスーパーヨットの利用に適していると述べている。⁴⁰



LNG 燃料ヨット「Crystal Blue」のコンセプト図

出所：Rolls-Royce

⁴⁰ <https://www.rolls-royce.com/media/press-releases/yr-2017/13-11-2017-rr-unveils-crystal-blue-luxury-yacht.aspx>

4. 欧州主要エンジンメーカーの LNG 燃料船用エンジンの開発動向

4-1. 概要

LNG 燃料の船用利用は、SO_x 排出ゼロ、PM 排出がほぼゼロ、重油燃料と比較して NO_x 排出を 85～90%低減という環境面での明白な利点がある。主要船用エンジンメーカーは、既に LNG 燃料を用いる様々なエンジンを市場化している。

現在、世界の環境保護の最大の課題は、GHG の削減である。LNG 燃料は前述のとおり重油燃料に比べて環境性の高い燃料であるが、GHG の一つであるメタンを排出することが問題となっており、これを最小限に止めることが出来た場合、LNG 燃料の利用は GHG の最大 25%削減に繋がる。

LNG 燃料の船用利用を促進する業界団体 SEA\LNG は、現行の DF エンジン、推進システム、制御システムの改良、又は将来的なガスタービンの利用等により、ガス燃料は更なる進化と GHG 削減の可能性を秘めているとしている。

エンジンメーカーは、環境規制強化とエンドユーザーの要望に対応するため、従来の重油焚きエンジンの効率向上と環境性向上に向けて多大な投資と研究開発を行い、成功を収めてきた。現在は、ガス焚きエンジンに関しても同様の資金と努力が投入されており、技術は進化し続けている。

長期的には、「グリーンガス」と呼ばれる 100%再生可能エネルギーであるバイオメタン（純化されたバイオガス、「バイオ LNG」）が利用可能になると予想され、ガス燃料の環境性と利点を更に高めることとなろう。現在、バイオメタンの製造量はごく僅かであるが、GHG 削減への機運が高まることにより、製造量も増加すると予想される。ロッテルダム港は既にこの可能性を検討している。⁴¹

LNG 燃料の使用のみでは CO₂ の完全削減は不可能ではあるが、ゼロ排出に向けた新たな画期的ソリューションが実現するまでは、多くの船種に利用可能な LNG 燃料が最良の選択であると考えられている。

4-2. ガス焚きエンジンの種類と搭載状況

ガスエンジンの種類

現在船舶に搭載されているガス焚きエンジンには、大きく分けて基本的に以下の 3 種類がある。ガスエンジンと DF エンジンは、ガス焚きの場合は希薄燃焼過程を使用する。1970

⁴¹ <https://www.dnvgl.com/article/uptake-of-lng-as-a-fuel-for-shipping-104195>

年代から陸上発電を中心に利用されているガスディーゼルエンジンは、ディーゼル過程を使用する。

① ガスエンジン（ガス専焼エンジン）

ガスのみを燃料とする希薄燃焼（リーンバーン）方式のガス専焼エンジン。希薄燃焼とは空気：燃料比が高く、混合気が薄い状態における燃焼である。混合気が薄ければ、燃料温度が低くなり、NO_x発生が低減する。エンジンは火花点火によって燃焼が開始されるオットーサイクルで運転され、ガスは低圧で噴射される。

Rolls-Royce は、1980 年代から希薄燃焼方式ガスエンジンを陸上発電及びコージェネレーション向けに開発してきた。船用機関としては、同社の Bergen ブランド、MTU ブランドのガスエンジンが、ノルウェーを中心とした比較的小型の LNG 燃料船に広く利用されている。

その他のガスエンジンメーカーは、三菱重工、川崎重工、Siemens Dresser-Rand、Scania 等である。

② DF エンジン（低圧 DF エンジン）

二元燃料（DF）エンジンは、ガスモード又は液体燃料（ディーゼル）モードでの運転が可能である。エンジンは、ガスモードでは希薄燃焼オットーサイクルで作動するが、火花点火ではなく、少量のディーゼル燃料が内燃室に噴射されることにより希薄燃料が着火する。噴射される燃料は、通常全燃料の 1%以下である。ディーゼルモードでは、ディーゼル燃料の高圧噴射を行う通常のディーゼルサイクルで作動する。

近年、低圧 DF エンジン最大手の Wärtsilä は、4 ストローク中速 DF エンジンに加え、2 ストローク低速 DF エンジンの技術を開発し、低圧 DF 技術が利用可能な船種の市場は更に拡大している。2016 年に Wärtsilä は 2 ストロークビジネスから撤退し、現在は Winterthur Gas & Diesel (WinGD) が 2 ストローク低速 DF エンジンの開発と販売を行っている。

また、メタノール等の LNG 燃料以外の代替燃料の使用も可能な多元燃料エンジンも開発されている。

③ ガスディーゼルエンジン（高圧 DF エンジン）

ガスディーゼルエンジンは、ガスとディーゼル燃料の多様な混合、又はディーゼル燃料のみで運転される。エンジンは、ガスが高圧で噴射されて着火し、ガス、ディーゼル燃料、空気の混合気を燃焼させるディーゼルサイクルを使用する。既存のエンジンを天然ガス焚

きに改造するには、大きな変更は必要ない。NO_x 排出量は、希薄燃焼 DF エンジンよりも多く、IMO の NO_x 3 次規制を満たさないため、排ガス後処理装置が必要となる。

ガスディーゼルエンジンの代表例としては、MAN ME-GI シリーズのエンジンがある。

表：ガスエンジンの種類と特徴

エンジンの種類	特徴
ガス専焼エンジン	<p>中速～高速、4 ストローク、出力 0.5～8 MW 火花点火、希薄燃焼方式 IMO NO_x 3 次規制 (Tier III) を満たす メタンスリップ発生：設計と燃焼過程により最小化可能 ガス品質の影響を受ける</p>
低圧 DF エンジン	<p>中速、4 ストローク、出力 1～18 MW 低速、2 ストローク、出力 5～63 MW パイロット燃料噴射 (0.5～1%) IMO NO_x 3 次規制 (Tier III) を満たす メタンスリップ発生：燃焼過程による抑制は限定的 燃料の柔軟性：HFO、MGO も使用可能 ガス品質の影響を受ける</p>
ガスディーゼルエンジン (高圧 DF エンジン)	<p>低速、2 ストローク、出力 2.5 MW 以上 パイロット燃料噴射 (5%) IMO NO_x 3 次規制 (Tier III) を満たさない メタンスリップなし 燃料の柔軟性：HFO、MGO も使用可能 既存エンジンからの改造が容易 ガス品質に影響されない</p>

出所：LNG Bunkering⁴²、DNV GL

ガスエンジンの種類別搭載状況

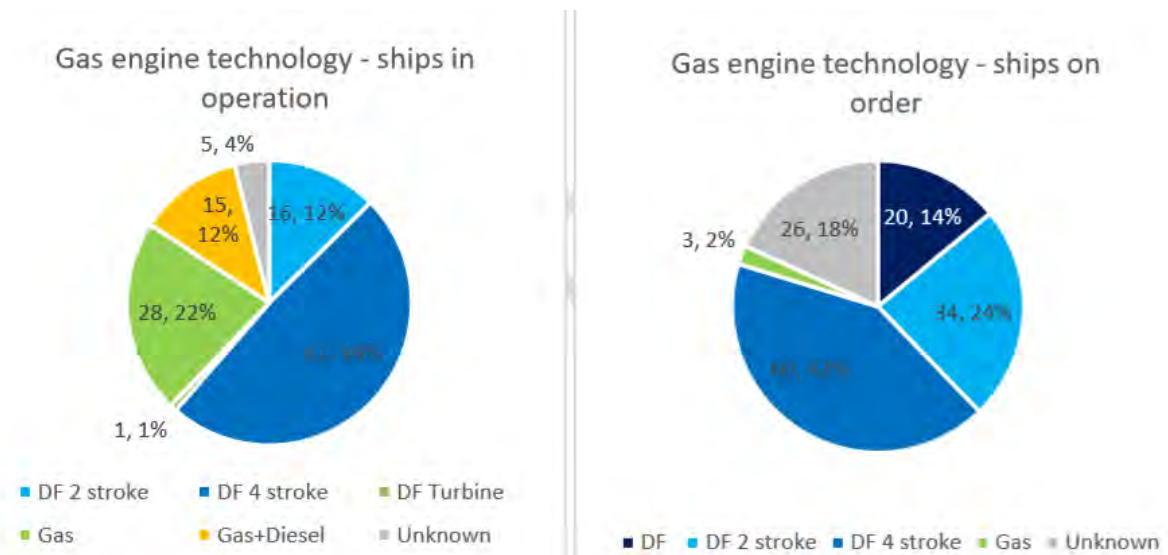
2018 年 1 月現在、就航中の LNG 燃料船の約 60%に当たる 97 隻が DF エンジンを搭載している。そのうち 62 隻は 4 ストローク DF エンジン、16 隻は 2 ストローク DF エンジンである。

また、LNG 燃料船の 22%はガス専焼エンジン（下表「Gas」）を搭載しており、12%はガス専焼エンジンとディーゼルエンジンの両方を搭載している（下表「Gas+Diesel」）。この「ガス+ディーゼル燃料」では、ガス専焼エンジンとディーゼルエンジンは両方とも推進エンジンであるが、通常ガス専焼エンジンが年間船内エネルギー需要の 90%を製造す

⁴² <http://www.lngbunkering.org/lng/technical-solutions/engine-types>

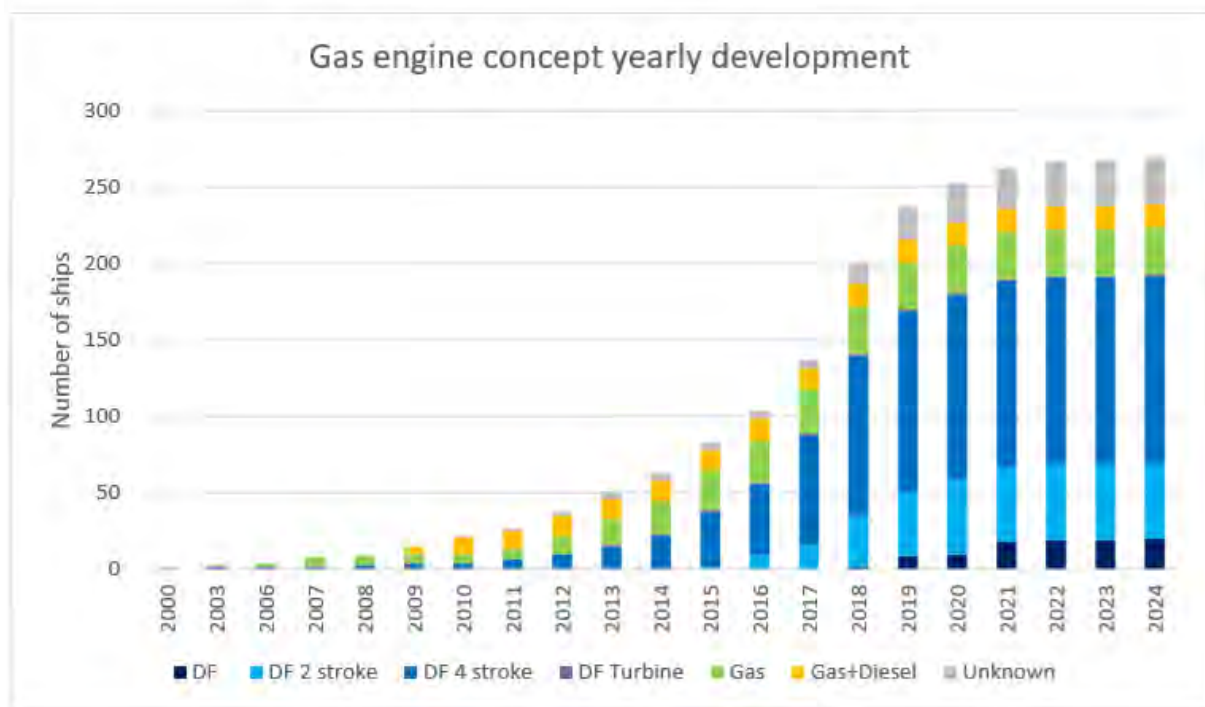
る。ガス専焼エンジン搭載船の多くは、非常時帰港用（take me home）のディーゼルエンジンもバックアップとして搭載している（Rolls-Royce 及び三菱重工）。

発注済みの LNG 燃料船に関しては、DF エンジンが 80%と大多数を占め、ガス専焼エンジンは 2%のみである（その他は不明）。近年の DF 技術の進化と経済性、LNG 燃料船の就航海域の変化、船種の多様化、船舶の大型化等の全ての要因が、この変化を促していると考えられる。



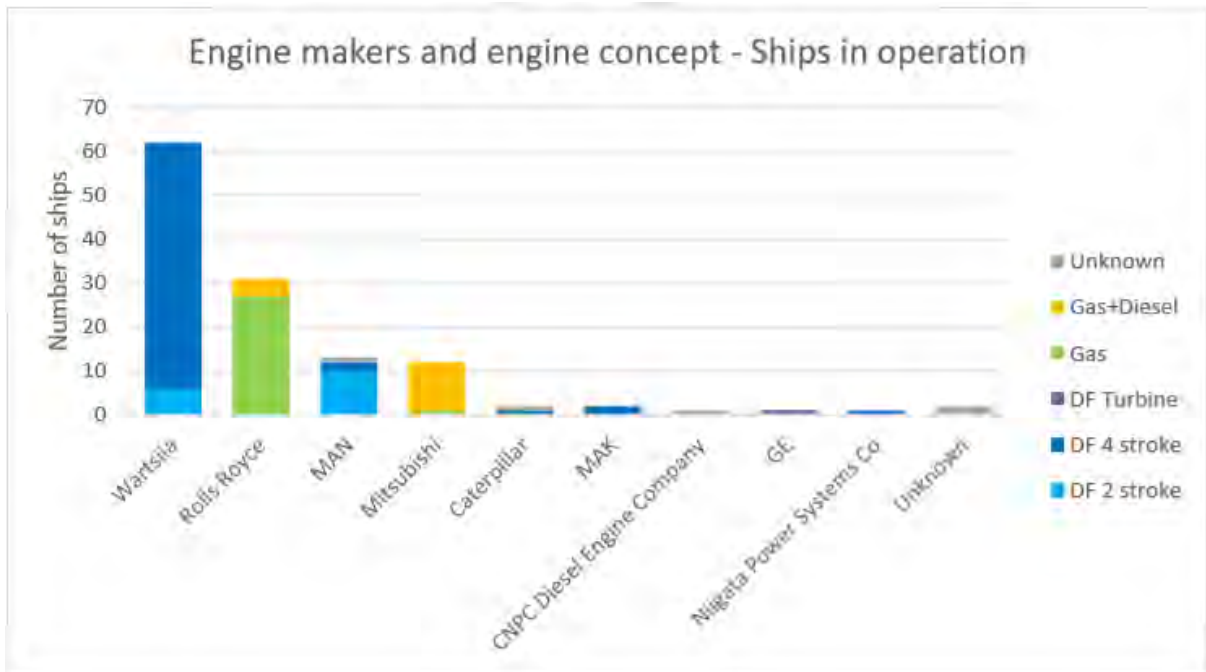
図：種類別ガスエンジンの搭載状況（就航中船舶と発注済み船舶、2018年1月現在）

出所：DNV GL



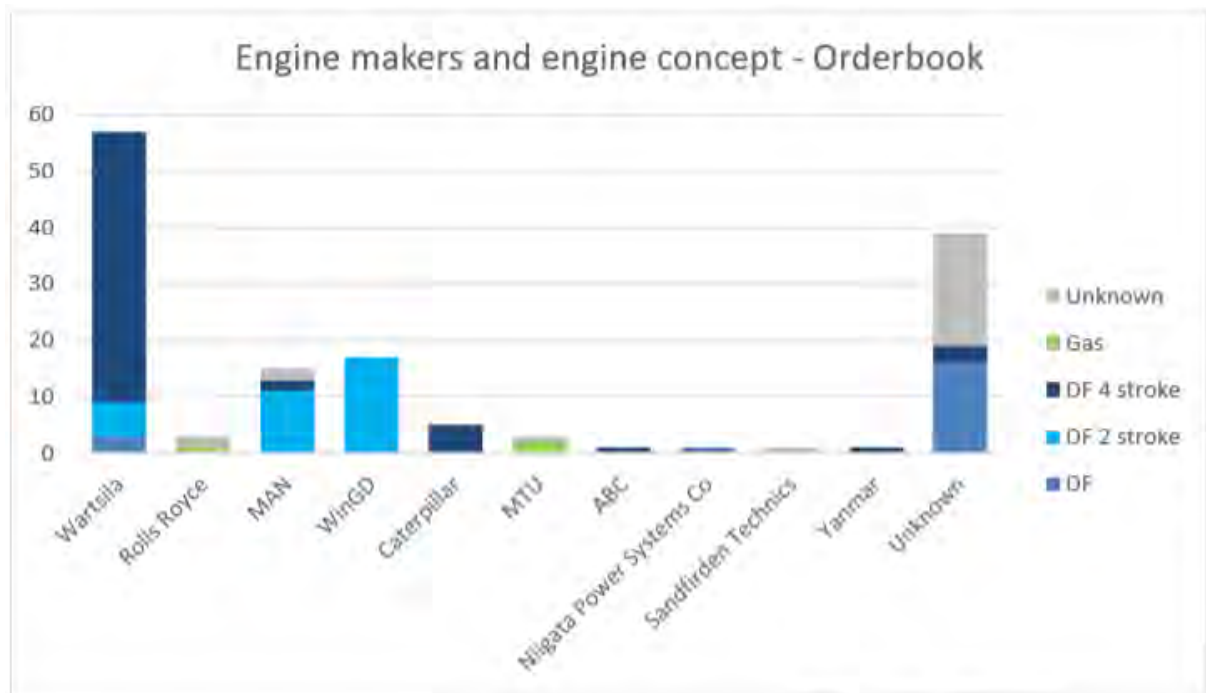
図：種類別ガスエンジン搭載船の隻数推移（河川船を含む。2017年1月現在）

出所：DNV GL



図：メーカー別、種類別のガスエンジン搭載船の隻数（就航中の船舶、2018年1月現在）

出所：DNV GL



図：メーカー別、種類別のガスエンジン搭載船の隻数（発注済み船舶、2018年1月現在）

出所：DNV GL

4-3. メタンスリップ

LNG燃料そのものの問題点として挙げられているのは、未燃のメタンが大気中に排出されるメタンスリップである。

メタンは量的には CO₂ に次いで地球温暖化に及ぼす影響が大きな GHG で、強力な温室効果がある。放出源のほとんどが化石燃料に由来する CO₂ と異なり、その放出源は湿地や水田から、家畜及び天然ガスの生産やバイオマス燃焼等多岐にわたる。⁴³

その強力な温室効果のため、LNG 燃料の利用によって CO₂ 排出量が低減して得られた温室効果低減効果の一部はメタン排出により相殺される。メタンスリップが発生しても約 20% の CO₂ 削減効果はあるとされているが、メタンスリップの問題が解決すればガスエンジンの環境性は更に高まる。

メタンスリップには、オペレーションによる排出及びエンジンからの排出の 2 種類がある。

① オペレーションによる排出

LNG 燃料にかかわるオペレーションにより、メタンが大気中に放出される。例えば、LNG 補給作業時、貯蔵中にも少量のメタンが排出される。

② エンジン排出

エンジン燃焼過程からの未燃のメタンの排出は、ガス焼きエンジンの欠点である。メタンの温室効果は CO₂ の 25 倍ともされており、出力当たり数グラム排出されるメタンが、LNG 燃料船の GHG 排出量を 10～15% 引き上げる結果となる。火花点火式エンジン及び DF エンジンからは、4～8g/kWh メタン排出量が報告されている。⁴⁴

メタンスリップは、ディーゼルサイクルモードでは発生せず、オットーサイクルを用いる火花点火式エンジン、DF エンジンのみで発生し、特に低負荷運転中での発生が多い。この解決がエンジンメーカーへの課題となっている。

4-4. 多元燃料への対応

DF エンジンは、重油以外の多くの液体燃料の使用が可能である。多くの DF エンジンでは少量のパイロット燃料が点火過程で使用された後、選ばれた代替燃料が燃料過程で用いられる。使用可能な代替燃料としては、LPG (液化石油ガス=プロパンとブタンの混合)、メタノール、エタノール、ジメチルエーテル (DME) 等がある。LNG と同様にこれらの代替燃料の硫黄分はゼロであり、NO_x と PM 排出量も大幅に削減される。

船用エンジンメーカーは、これらの代替燃料で運転可能な多元燃料対応型 DF エンジン

⁴³ 気象庁

⁴⁴ <http://www.lngbunkering.org/lng/environment/benefits-of-LNG>

を開発、提供している。燃料の種類に応じて燃料タンクや配管の設計変更が必要となるが、LNG 燃料と違い超低温貯蔵の必要がないため、関連設備はシンプルで比較的低コストである。

4-5. 欧州主要エンジンメーカーの動向

4-5-1. Wärtsilä（フィンランド）

Wärtsilä は、1980 年代後半にガスディーゼル（GD）高圧技術を採用した初の DF エンジンを開発した。DF エンジンのコンセプト自体は画期的であったが、複雑で高価なガス処理システムや安全性の懸念、また、有害ガスの排出量は従来のディーゼルエンジンと大きくは改善しなかったため、同技術はニッチ市場のみに用いられた。

1990 年代後半の 4 ストローク低圧 DF エンジンの発表とともに、Wärtsilä は DF エンジンのグローバル市場リーダーとなった。2013 年には、DF エンジンの販売実績は 1,000 基（陸上発電、船用を含む）を超えた。

2013 年、Wärtsilä は、2 ストローク低速 DF エンジンを発表した。シリーズの最初の機種 Wärtsilä RT-flex50DF は 2014 年に発売され、その後 2 ストローク「Generation X」シリーズの他のモデルが続いた。

2015 年、Wärtsilä は中国船舶工業集团公司（China State Shipbuilding Corporation : CSSC）と合弁会社 Winterthur Gas & Diesel（WinGD）を設立、2016 年には持ち株を CSSC に売却し、2 ストロークエンジン事業から撤退した。

現在、Wärtsilä は、船用主機として出力 1,110kW~18,320kW の 5 シリーズ（20DF、31DF、34DF、46DF、50DF）の 4 ストローク中速 DF エンジンを市場展開している。また、二元燃料から多元燃料への対応を進めている。全ての DF 機種はガスモードで IMO NOx 3 次規制を満たし、大型の 3 機種（34DF、46DF、50DF）は米国 EPA 3 次規制も満たしている。

2017 年 12 月には、Wärtsilä はフランスのメムブレン方式ガスタンク企業 GTT 社との協力を合意し、両社は共同で LNG 燃料エンジンと LNG 貯蔵・供給システムを提供していく計画である。

4-5-2. Winterthur Gas & Diesel（WinGD）（スイス）

中国船舶工業集团公司（CSSC）が所有するスイス Winterthur Gas & Diesel（WinGD）は、1898 年設立のスイスのエンジンメーカー Sulzer Diesel Engine を母体としている。

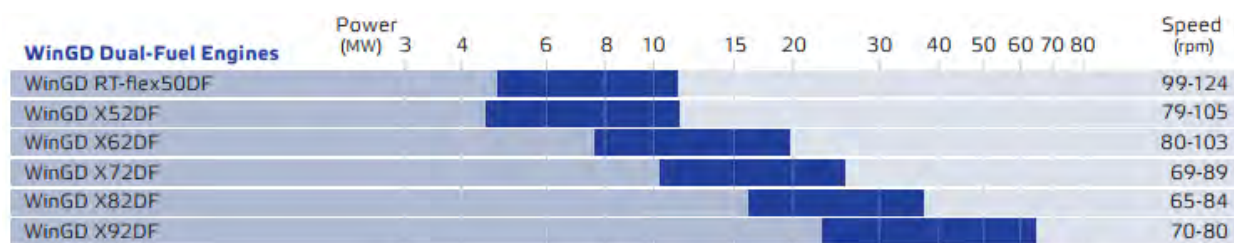
1997年、New Sulzer Diesel LtdはWärtsilä Diesel Oyと合併してWärtsilä NSD Corporation (後のWärtsilä Corporation)となった。2000年、Wärtsilä NSD Switzerland LtdはWärtsilä Switzerland Ltdに社名を変更した。

2015年、WärtsiläとChina State Shipbuilding Corporation (CSSC)は合弁会社設立に合意し、Wärtsiläのスイスの2ストローク部門Wärtsilä Switzerland Ltd.の新社名は「Winterthur Gas & Diesel Ltd. (WinGD)」となった。

2016年にWärtsiläは2ストロークエンジンビジネスからの撤退を決定し、WinGDの全株式をCSSCに売却した。これに伴い、「Wärtsilä」のブランド名を持つDFエンジンを含む同社の2ストロークエンジンのブランド名は「WinGD」となった。

現在、Winterthur Gas & Dieselのスイス本社は、低速エンジンの研究開発、営業販売等を行い、同社の開発したエンジンは日本、中国、韓国、クロアチアのライセンスー15企業により各地でライセンス製造されている。

同社のディーゼルエンジン及びDFエンジンの製品群は、出力2.5～73.5MW、ボア350～920mm、回転数58～167rpmをカバーしている。DFエンジンとしては、ガスモードではIMO NOx 3次規制を満たす以下の6シリーズを展開している。



図：WinGDのDFエンジンシリーズ

出所：WinGD

2017年11月には、CMA CGMが中国造船所で建造中の世界最大となる22,000TEU型コンテナ船9隻向けに12シリンダー型X92DFエンジン(12X92DF)を受注した。オートサイクルで運転するボア920mm、回転数80rpmで出力63,840kWの同エンジンは、WinGD及び業界最大のDFエンジンである。

2017年11月時点において、2013年に発表されたX-DFシリーズのエンジンの受注実績は既に75基を超えており、2017年だけでも25基の受注を獲得した。発売当初はLNG運搬船向けの受注が多かったが、2017年に入り、貨物船等の他船種への利用も多くなっている。

4-5-3. MAN Diesel & Turbo (ドイツ)

船用低速主機市場で大きなシェアを持つ MAN Diesel & Turbo が 1990 年半ばに開発を開始した GI (ガスインジェクション) 技術を搭載した 2 ストローク低速 DF エンジン「ME-GI」シリーズは、2011 年に発表された。2013 年には販売と製造が本格化した同エンジンは、日本、韓国でライセンス製造されている。2017 年末時点における ME-GI エンジンの受注実績は 200 基を超える。

実績のある ME シリーズのディーゼルエンジンを基礎とし、ディーゼルサイクルで運転される ME-GI エンジンの利点は、ノッキングがなく、メタンスリップは極少、ガス性状に影響されないことである。

一方、欠点としては、NO_x 排出量が多いこと、高圧ガスが必要であることが挙げられている。NO_x 排出に関しては、IMO の 3 次規制に対応するためには高圧 EGR (排気再循環システム) 又は SCR (選択触媒還元システム) 等の排ガス後処理装置が必要となる。

高圧ガス使用時の安全性に関しては、ガス漏れの監視、ガス噴射弁とウィンドウ弁間のガス圧力の常時監視、筒内圧の常時監視等により、異常が検知された場合にはガス供給がシャットダウンし、重油運転に切り換える機能を持つ。

MAN も使用燃料の多元化対応を進めており、2013 年には ME-LGI (メタノール、エタノール、LPG と重油) の開発を開始した。また、メタノールや LPG は常温で多少の圧力の下で液体として扱えるため、液体のまま噴射する ME-LGI 技術を開発した。これらを燃料とした場合、燃料タンクコストは LNG と比較して安価になり、初期投資の面では有利となる。⁴⁵

また、4 ストローク中速 DF エンジンとしては、ガスモードでは後処理装置なしに IMO NO_x 3 次規制を満たす MAN 51/60DF 及び MAN L35/44DF の 2 シリーズ展開している。開発中の L23/30DF は、2017 年 11 月に型式認証を取得した。

MAN の DF エンジンは既存エンジンの設計を基礎としているため、DF エンジンへの改造、レトロフィットが比較的容易であることが特徴である。近年 MAN はレトロフィットビジネスに力を入れている。2017 年初頭には、主機 MAN 8L48/60B を搭載したドイツ船社 Wessels Reederei の 1,036TEU 型コンテナ船「Wes Amelie」に DF 主機 MAN 51/60DF のレトロフィットを行った。その後、Wessels Reederei は 3 隻のレトロフィットを追加発注している。同社が所有する「Wes Amelie」の 23 隻の姉妹船のうち 16 隻は同一設計を持つため、経験を活かしたレトロフィットが可能である。

⁴⁵ 三井造船株式会社「LNG 燃料 2 ストロークガスエンジン ME-GI の紹介」

2017年10月には、船舶の環境性向上に寄与するLNG燃料の普及を目指し、既存船10隻の改造プロジェクトへの200万ユーロの投資を発表した。

4-5-4. Rolls-Royce (英国)

Rolls-Royceは、希薄燃焼ガス専焼エンジン開発におけるパイオニアで、同社Bergenブランドのガスエンジンの第1号機は1991年に運転を開始した。現在、同社は子会社であるエンジンメーカーBergen及びMTUを通じて船用ガスエンジンを提供している。

Bergen エンジン

出力1,400~9,400kWのBergenブランドの船用中速エンジンは、Rolls-Royceのノルウェー子会社Bergen Engines ASが開発製造を行っており、ガスエンジンの船用利用は、ノルウェーの内航船を中心に本格化している。現在ではガスエンジンの販売実績は700基以上(陸上発電用、船用エンジンを含む)、総稼働時間は3,100万時間を超える。

発売以来改良が続けられてきた同社のガスエンジンには、2010年に発売されたBergen Cシリーズ、更に大型のBシリーズ(直列型)、及びBVシリーズ(V型)がある。全てのエンジンは、希薄燃焼火花点火式のオットーサイクルで運転する。

Bergenガスエンジンは、同等のBergenディーゼルエンジンと比較した場合、NOx排出量が92%、CO2排出量が22%低い。SOxとPMの排出はほぼゼロである。また、排熱回収システムにより、エンジン出力の最大10%が回収可能である。さらに、LNG燃料のみを使用するガス専焼エンジンであるため、機関室がクリーンに保たれ、潤滑油の交換も必要がないなど、メンテナンスコストが5~10%程度低減される。

同社のガスエンジンは、排ガス後処理装置が必要なく既にIMO NOx 3次規制、米国EPA 3次規制を満たしている。更に厳しいEPA 4次規制の認証も申請中である。

Rolls-Royceの中速ガスエンジンは、主にオフショア船、旅客船、沿岸貨物船、タグボート、メガヨット等の船種に利用されている。

MTU エンジン

Rolls-Royceの高速エンジン部門であるドイツMTU Friedrichshafenは、最大出力10,000kWまでのディーゼルエンジンに加え、2,535kWまでの高速ガスエンジンを開発製造している。

2016年9月、ドイツSMM展示会において、MTUは同社初の船用ガスエンジンを発表した。

まず、出力 1,500～2,000kW の 16 シリンダー型ガスエンジンが 2018 年に発売され、続いて、出力 750～1,000kW の 8 シリンダー機種が発売される予定である。対象市場は、タグボート、フェリー、押船、調査船等の特殊船の主機である。

同ガスエンジンは、排ガス後処理装置を使用せずに IMO NOx 3 次規制を満たす。米国 EPA 4 次規制を満たすためには、エンジンに搭載された小型酸化触媒システムを用いる。エンジンルームの設計は、ディーゼルエンジンの場合とほぼ同様である。

2017 年 12 月、MTU は、16 シリンダー 4000 シリーズのガスエンジン 4 基のうち最初の 2 基を新造カタマラン向けに納入した。オランダ船社 Doeksen がベトナム造船所 Strategic Marine で建造中のアルミニウム製カタマラン型フェリー 2 隻は、2018 年初頭にオランダのワッデン海で就航する予定である。⁴⁶

⁴⁶ <https://dieselgasturbine.com/first-marine-gas-engines-delivered/>

5. 代替燃料の可能性と開発動向

5-1. 概要

現時点では、最も有力な石油の代替燃料である LNG も石油と同じく化石燃料で枯渇性資源であり、推定可採年数は 50 年以上あるとは言え、中長期的には更なる代替燃料が必要となることは明らかである。また、LNG 採掘による環境への影響も問題視されており、更に環境に優しい再生可能な代替エネルギーの開発と調達が今後の課題となっている。

船用燃料として利用が有望な代替燃料としては、既に利用されている LNG 以外に、電力、バイオディーゼル、メタノールがある。更に将来的に可能性のある代替燃料としては、LPG、エタノール、ジメチルエーテル (DME)、バイオガス、合成燃料、水素 (特に燃料電池用)、核燃料等が考えられる。これらの燃料は全て硫黄分を含まないため、現在焦点となっている SO_x 規制を満たすことに問題はない。代替燃料の種類、使用方法 (専焼、又は従来燃料との混合) により、船舶の GHG、NO_x、SO_x 等の排出量は異なってくる。

代替燃料の利用拡大には、技術の発展と同時に関連インフラと規制環境の整備が必要である。LNG、メタノール等の引火点の低い船用代替燃料に関する国際規則は、IMO において定められている。IMO による国際規則「ガス燃料その他低引火点燃料を使用する船舶の国際安全コード」(International Code of Safety for Ships using Gases or other Low-flashpoint Fuel、通称 IGF コード) は、2017 年 1 月に発効したが、現時点では LNG 燃料のみを対象としている。

5-2. 船用代替燃料普及の可能性

いかなる種類の燃料であっても代替エネルギー源の導入には時間が掛かるが、必要な技術の進歩とインフラが整備されるにつれて普及の速度は加速する。最初に普及が進むのは、燃料供給が長期的に安定している地域である。インフラの未整備により、最初に代替燃料を使用する船舶は、インフラが整った海域のみを運航する沿岸貨物船や小型フェリーに限られることが多い。

現時点では、LNG のみが船用重油燃料に代わる燃料となり得る。今後の船用 LNG 燃料の普及は、燃料価格の推移、技術の進歩、規制環境、インフラ等の要因に影響される。

カーボン排出量の少ない船用燃料電池も今後有望な代替エネルギー源である。特に港湾内の操船やダイナミックポジショニング等の頻繁で過渡的な運転の多い船舶には、燃料電池を用いたハイブリッド推進システムが適している。

バイオ燃料も今後の普及が期待される代替燃料である。港湾の近隣地域の廃棄物バイオマスから製造されるバイオ燃料は、近い将来に LNG 燃料や石油系燃料の代わりに利用さ

れる可能性がある。中期的には、世界各地で多様なバイオ燃料が利用可能となると予想される。

太陽光や風力等の再生可能エネルギーの船用利用もある程度進むと予想されるが、大型船舶の主動力となる可能性は低く、海運全体のカーボン排出量への影響は限定的である。

これらの代替燃料は石油やガスと比較して流通量が限られているため、短中期的に世界的な海運市場に浸透するとは考えられない。一方、北欧等の特定地域、又は短距離フェリーやケミカルタンカー等の特定市場においては有効な代替燃料となる可能性がある。

最も可能性の高いシナリオは、LNG、バイオ燃料、再生可能エネルギー電気、水素等の多様な代替燃料のミックスであると考えられる。電化技術やエネルギー貯蔵技術の進化により、様々なエネルギー源の利用が可能となる。太陽光や風力等の再生可能エネルギーも、電池又は水素として船内貯蔵され、利用される。

5-3. 欧州の代替燃料政策

EUは、代替燃料と関連インフラ促進に関する2014年のEU指令(Directive 2014/94/EU)の中で、代替燃料とは、化石燃料の代わりに交通機関のエネルギー源として使用され、交通機関の非カーボン化と環境性を向上させる可能性のある燃料又は動力源と定義している。

欧州における代替燃料の利用促進とインフラの整備は、船用燃料中の硫黄分を定めたEU指令(Directive 2012/33/EU)の遵守に不可欠であり、また、交通機関の石油依存を軽減するためにも必要である。欧州委員会によると、2010年時点における欧州の交通機関の石油依存度は94%で、石油の大部分はEU域外からの輸入に頼っている。そのコストは1日10億ユーロにも上り、EUの貿易赤字に繋がっている。代替燃料の促進は、交通機関によるGHG削減に寄与すると同時に、石油依存を軽減し、長期的な欧州のエネルギー供給の安定性を向上させる。

EUは、2011年に発表したエネルギー白書の中で、2050年までに交通機関が排出するGHGを1990年レベルと比較して60%低減させることを提案している。短中期的に有望な代替燃料としては、電力、水素、バイオ燃料、天然ガス、LPGを挙げている。

5-4. 主な代替燃料

5-4-1. バイオLNG(液化バイオメタン)

LNGは、将来的には有機廃棄物から発生するバイオガスの嫌気性消化方法により製造されるバイオメタンに徐々に取って代わられると予想される。バイオLNGは、化石燃料である現行のLNGと同様の特性を持つが、高品質な再生可能エネルギーであり、GHGの大

幅削減が期待できる。LNG はメタン以外の炭化水素類を含むが、バイオ LNG はほぼ純粋なメタン (99%) である。化石 LNG にバイオ LNG を混入した場合、メタンスリップを抑制することが出来る。

MAN の調査によると、同社 51/60DF エンジンでバイオガスを使用した場合、CO₂ 排出量はディーゼル燃料使用時の 90% 減となる。一方、通常の化石 LNG 燃料を使用した場合の CO₂ 削減率は 20% に止まる。NO_x 削減率 (85%)、SO_x 削減率 (99%)、PM 削減率 (99%) は LNG 燃料、バイオガスとも同じである。

バイオ LNG は、嫌気性消化方法が利用できる場所であればどこでも製造することが出来、他のバイオ燃料と比較しても製造コストも安い。

欧州のバイオ LNG 製造インフラは、現在開発中であり、各セクターからの関心も高い。バイオ LNG の製造には、他のバイオ燃料の場合と同様にバイオマスの確保が必要となる。

2017 年に完成した世界最大のバイオガス製造施設 Biokraft Skogn (ノルウェー) では、主に近隣の製紙工場からの排水と水産物養殖場からの廃棄物を利用して、年間 250GWh の液化バイオガスを製造する。これは 2,500 万リットルのディーゼル燃料に相当し、年間 600,000 トンの CO₂ 削減を実現する。⁴⁷

5-4-2. バイオ燃料

バイオ燃料とは、再生可能な生物由来の有機性資源 (バイオマス) を原料に、発酵、搾油、熱分解等によって作られた燃料を指す。バイオ燃料は燃焼の際には CO₂ を排出するものの、原料作物の成長過程において CO₂ を吸収しているために、その排出量はゼロとカウントされる (カーボンニュートラル)⁴⁸。バイオ燃料には、バイオディーゼル、バイオエタノール等がある。

バイオ燃料の主な原料は、①食用収穫物、②非食用収穫物 (廃棄物、限界耕作地の収穫物)、③非食用海藻類である。バイオ燃料は GHG の大幅削減に寄与するだけでなく、その生物分解の速さにより燃料漏れ事故が起こった場合でも海洋環境への影響が少ないという利点がある。また、化石燃料と混合して従来の内燃機関に使用可能という柔軟性を持っている。廃棄物から製造されたバイオガスは LNG の代替となる。

バイオ燃料には上記のような利点があるが、必要量を製造することが課題である。原料となるバイオマス (生物体) を調達し、製造施設へ輸送するにはコストが掛かる。藻類を原料としたバイオ燃料は有望であるが、効率的な大量製造の方法と過程の研究が必要である。

⁴⁷http://www.biogaspartner.de/fileadmin/biogas/documents/Kurznachrichten/2016/eng/2016_03_21_Purac_Puregas_bio_LNG_presentation.pdf

⁴⁸ 出光興産

多様なバイオ燃料の船用利用に関する研究は既に開始されており、当初の研究結果は良好である。問題点としては、バイオ燃料の長期保存の安定性や腐食が挙げられているが、最も大きな問題は十分な量の燃料の確保である。廃棄物や藻類を原料とするバイオ燃料に関する研究開発の進展は、今後の石油とガスの価格に影響されることとなろう。生産量の確保と低価格が実現した場合には、2030年までに実用化が進むと予想されている。

現在の世界の船用燃料の消費量は年間約4億トンである。近い将来にバイオ燃料が船用燃料の主流になる可能性は低いと考えられる。

5-4-3. メタノール

メタノールは、メチルアルコールとも呼ばれる無色透明の液体である。現在、天然ガスや石炭から製造されることが多いが、一般廃棄物、産業廃棄物、バイオマス、CO₂からも製造可能な低炭素燃料となり得る。

メタノールは、石油化学産業において、ホルムアルデヒドや酢酸等の化学品を製造するための燃料源として広く用いられているが、これまで輸送機関の燃料として用いられることは少なかった。例外は中国の自動車であるが、中国の安価なメタノールは石炭を原料としているため、逆にGHGを増加させる結果となっている。

船舶に関しては、メタノール燃料の使用により、重油燃料使用時と比較して、SO_xは100%近く削減され、NO_xは60%、PMは95%、CO₂は25%削減される。

メタノールのガス排出量はLNGとほぼ同等であるが、液体であるため天然ガスよりも取扱いが簡単で、インフラ整備も容易であるという大きな利点がある。

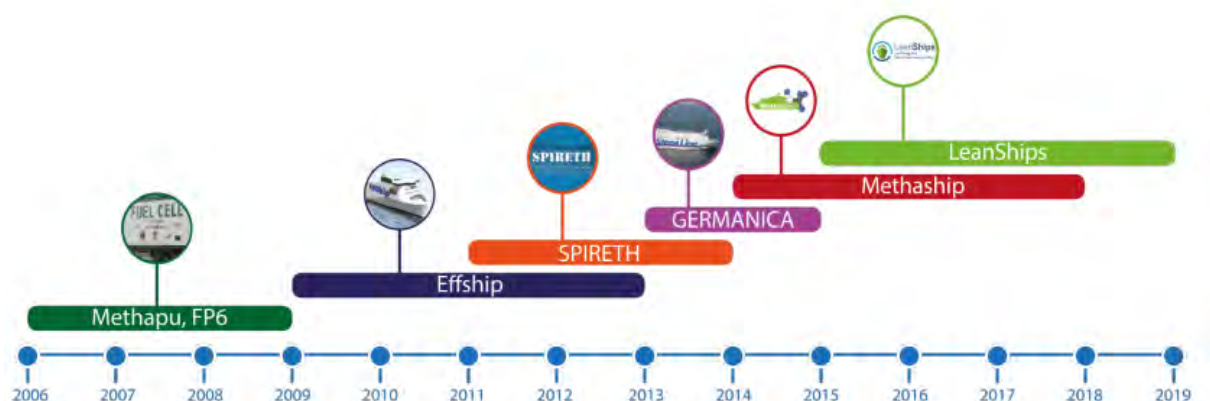
問題点としては、低引火点、毒性、低粘性、腐食性、エネルギー、燃料油と比較した場合のエネルギー含量の低さ（50%）と価格競争力等が挙げられている。メタノールは着火点が比較的低く、大気よりも重い。吸引又は皮膚と接触した場合には毒性がある。

北欧、特にスウェーデンでは、NO_x及びSO_x排出量の削減を目指した旅客フェリーの燃料として、メタノールへの関心が高まっている。DNV GLは、2013年に低引火点液体（LFL）燃料の使用に関するノーテーション「LFL FUELLED」を追加し、素材、配置、防火、電気システム、制御・監視、機械部品、船種別の要件等の規則を設けている。

メタノール燃料船開発プロジェクト

欧州では、2006年以来、メタノールの船用利用に関する以下のような一連の研究開発プロジェクトが実施されており、既に2015年3月には主機をメタノール燃料エンジンに改

造した世界初のフェリー「Stena Germanica」が就航している。



図：メタノールの船用利用に関する研究開発プロジェクト

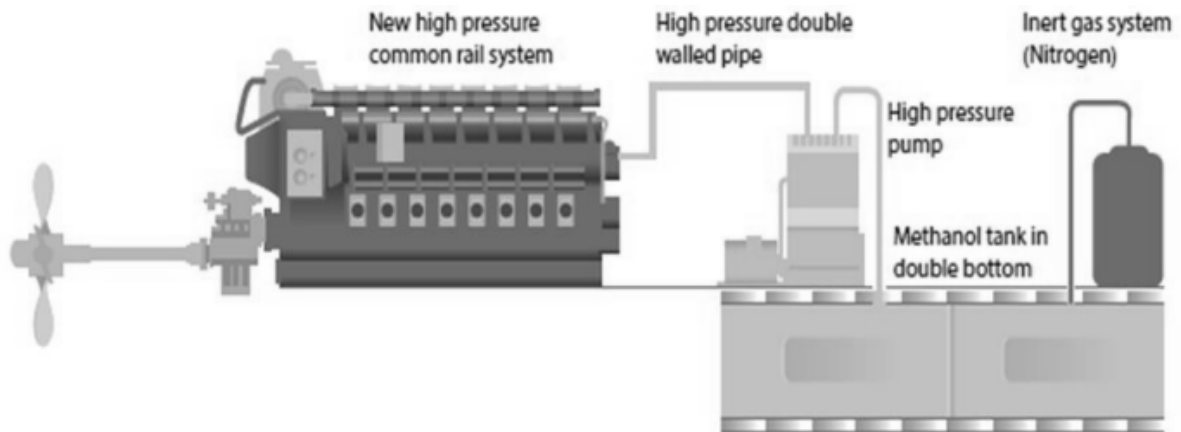
出所：Lloyd's Register

「Stena Germanica」改造プロジェクト

スウェーデンに本社を置く欧州大手フェリー船社 Stena Line は、2005 年以来環境負荷軽減を目指した省エネプログラムを実施し、船舶の燃料消費量を年間平均 2.5%削減してきた。

同社が所有する ROPAX フェリー「Stena Germanica」(全長 240m、2001 年スペイン Astilleros Españoles 建造) は、2015 年 1 月～3 月にポーランドの Remontova 造船所で改造が行われ、世界初の大型メタノール燃料船として同年 3 月末にキール(ドイツ)ーヨーテボリ(スウェーデン)間航路に就航した。改造プロジェクトのコストは 2,200 万ユーロで、うち 50%は EU の「Motorways of the Seas」プログラムが資金を拠出している。プロジェクトは、Stena Line、Wärtsilä、ヨーテボリ港、キール港、カナダのメタノール製造企業 Methanex Corporation が協力して実施された。

プロジェクトでは、「Stena Germanica」の主機 Wärtsilä Sulzer 8ZAL40S 型エンジン 4 基(総出力 24,000kW)をメタノール燃料対応の DF エンジンに改造した。メタノール又は MGO の切替えが可能な DF エンジンは、パイロット燃料としては MGO を使用する。メタノール燃料のバンカリングには、トラックが使用される。



図：「Stena Germanica」の推進システム

出所：Stena Teknik

改造された主機の稼働時間は、就航後約1年以内に2,000時間を超えた。Stena Teknikによると、メタノール燃料の低粘性による配管の調整、高圧パイプの振動の調整、過敏な制御及びアラームシステムの調整という問題以外は順調に稼働し、結論としてメタノールは船用燃料として使用可能であることが実証された。⁴⁹

「Stena Germanica」に続き、2016年にはメタノール焚きDFエンジンを搭載した50,000DWT型新造メタノールタンカー7隻が次々に就航した。南日本造船と韓国現代尾浦造船で建造された新造タンカー7隻は、カナダのメタノール製造企業Methanex Corporationがチャーターし、子会社Waterfront Shippingが運航する。新造タンカーは、主機としてMANの2ストロークDFエンジンMAN B&W ME-LGIを搭載している。メタノールの他、HFO、MGO、MDOが使用可能である。⁵⁰

同船隊のメタノール燃料のバンカリングに関しては、既に貨物としてメタノールを運んでいるため容易である。貨物のメタノールとは別に燃料用のタンクを設置している。

新造船をDFメタノール燃料対応にアップグレードするためのコストは、従来燃料船の建造コストの5%増し程度であると推定されている。⁵¹

MethaShip プロジェクト

「MethaShip」プロジェクトは、メタノールの旅客船（クルーズ船とROPAXフェリー）の中速船用エンジンの燃料としての可能性の検証を目的としたドイツの研究開発プロジェクトである。プロジェクト実施期間は2014年9月～2018年2月で、ドイツの造船所（Meyer Werft、Flensburger）、船用エンジンメーカー（MAN、Caterpillar）、メタノール企業 HELM、

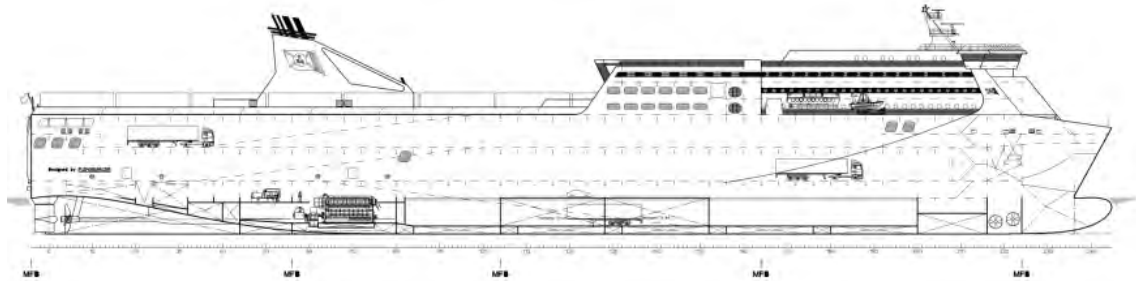
⁴⁹ Per Stefenson, Stena Teknik at UK Chamber of Shipping and IBIA Technology Forum 2017-03-19

⁵⁰ <https://www.methanex.com/sites/default/files/news/1YearOfMethanolVessels.pdf>

⁵¹ chevron marine lubricants white paper, methanol and marine lubricants in a lower sulphur, lower emissions future, 2017

船級協会 Lloyd's Register が参加している。

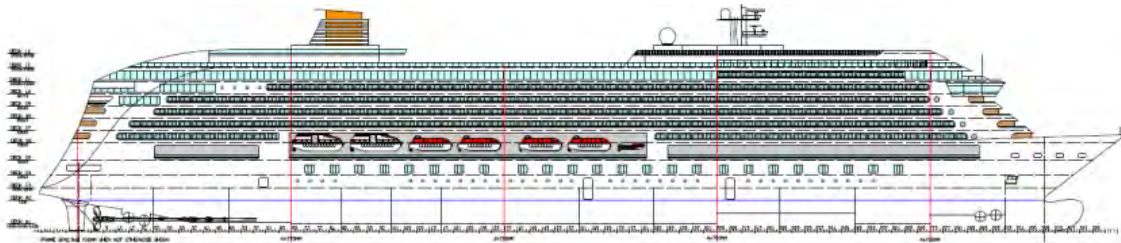
プロジェクトの対象船種となったクルーズ船とフェリーの概要は以下のとおり。



Main data	
Length	199.8 m
Width	28.6 m
Draught	6,5 m
Passengers	600 + 50 Crew
Engines	Dual Fuel 2 x 9 MW medium speed
Main fuel	Methanol

図：ROPAX フェリー

出所：MEYER WERFT



Main data	
Length	238.0 m
Width	32.2 m
Tonnage	62 800 GT
Passengers	2050 + 570 Crew
Engines	4 x 9 MW medium speed engines
Main fuel	Methanol

図：クルーズ船

出所：MEYER WERFT

ドイツ政府は IMO に対し、同プロジェクトの研究結果をもとに、メタノール燃料の船用利用に関する IGF コードの変更とガイドラインの早期制定を求めている。

プロジェクトでは、性能、安全性、取扱い等の物理的な面で、メタノールは液体ではない他の燃料よりも優れた特性を持つと結論付けている。

インフラ面では、メタノールのインフラは既に世界各地に存在し、既存タンクの調節により、供給量を増加させることも容易である。

現在、メタノールは天然ガス又は石炭から製造されているが、将来的に再生可能メタノールの製造が進んだ場合、メタノールは最も有望な代替燃料となる。今後の課題として、他の代替燃料との詳細なコスト比較が必要である。⁵²

メタノール燃料電池船「Innogy」

2017年夏には、ドイツ大手エネルギー事業者 RWE の子会社 Innogy 社が、100%再生可能メタノールを燃料とする電池で駆動されるドイツ初の河川旅客船が、エッセンのバルデン湖で運航を開始した。同船の開発プロジェクトは、エッセン市と Innogy 社が共同で行った。ドイツの代表的な工業都市であるエッセン市は「グリーン化」を進めている。

同船は、ドイツ造船所 Lux Werft で燃料電池船に改造され、2016年8月に運航会社 Weisse Flotte Baldeney に引き渡された。デンマーク SerEnergy が開発製造した出力 35kW のメタノール燃料電池システムは、出力 5kW のモジュール 7 基で構成されている。

SerEnergy によると、同船の動力システムは、燃料電池システムとバッテリーパックのハイブリッド型で、燃料電池の補助により同船は燃料補給なしに 1 日中運航することが可能である。燃料電池からの排熱をメタノール再生過程に利用することにより、40~50% という高い電気効率を実現している。排ガスは完全にゼロで、振動とノイズも低い。

SerEnergy は、クルーズ船のメタノール燃料電池システム開発に関する「Pa-X-ell」テストプログラムで得られた結果と経験を、Innogy 開発プロジェクトで活用した。⁵³

同船は Siemens の制御、エネルギー、駆動技術を採用し、設計には Siemens PLM Software の 3D 技術 NX CAD ソフトウェアを用いた。船内制御及び駆動系の機器の多くは Siemens 製で、同社の「Profinet」バスシステムにより相互接続されている。⁵⁴

⁵² 「メタノール：将来的に有望な船用燃料？」 Dirk Schroeder, Project Manager for METHASHIP, Lloyd's Register

⁵³ <http://serenergy.com/the-first-methanol-fuel-cell-powered-vessel-in-germany-is-now-sailing-the-waters-of-lake-baldeneysee/>

⁵⁴ Marinelog, JANUARY 17, 2017



メタノール燃料電池船「Innogy」

出所：Marinelog

メタノール燃料のバンカリング

メタノールは、100年以上前から海上輸送されている液体貨物で、現在では世界で輸送されるトップ5の化学品の一つである。世界の港の多くは既にメタノールを取り扱っており、インフラはある程度整備されている。そのため、メタノール燃料の調達は比較的容易である。

前述のとおり「Stena Germania」はメタノール燃料をトラックから供給しており、メタノールタンカー船隊は船内に貨物としてメタノール燃料を貯蔵している。河川船「Innogy」は、バルデナイ湖の水力発電施設でCO₂から製造されたメタノールを利用すると同時に、燃料電池の排熱を利用してメタノールの船内再生を行っている。⁵⁵

メタノール燃料を利用する船が増加した場合、ディーゼル燃料用のバンカリングバージをメタノール燃料用に改造して利用することも可能である。

5-4-4. 水素

水素分子は常温・常圧では無色無臭の気体で、非常に軽く、非常に燃焼・爆発しやすいといった特徴を持つ。水素(H₂)は燃えても水(H₂O)しか出来ないため、CO₂、SO_x、NO_x等の排出のない環境負荷の小さい優れた燃料として期待を集めている。

従来からの貯蔵手法には、高圧化と液体化の2つがあるが、マイナス250℃以下で液化させると体積は1/800となり、しかも、軽いため低温貯蔵性には優れる。

水素は、アンモニア等の化学品の原料となる他、金属鉱石の還元剤として用いられている。燃料としては、環境性の高い代替エネルギーとして、水素自動車、ロケット、燃料電池等への利用が開始されている。

⁵⁵ <http://igpmethanol.com/2017/08/29/methanol-fuel-cell-powered-passenger-vessel-put-into-operation-in-germany/>

水素は、エネルギー変換効率が高く、燃焼後に CO₂ を排出しない。また、現状では主に石油、天然ガス等化石燃料を使って安価に大量製造されているものの、将来的には、水の電気分解やバイオマス、廃棄物等を利用により、化石燃料に拠らないで製造できる可能性がある。このため、将来性の高いエネルギーの輸送及び貯蔵手段として期待される。⁵⁶

船用燃料としては、再生可能エネルギー電気から製造された水素を、船用燃料電池の燃料源とすることが可能である。しかしながら、水素燃料の製造、輸送、貯蔵は難しく、高コストである。圧縮水素のエネルギー密度は非常に低く、重油燃料の 6~7 倍の貯蔵スペースが必要となる。一方、液体水素はエネルギー損失量が多く、断熱性の高い超低温貯蔵設備が必要である。

水素は、燃料電池のエネルギー源として最も多く利用されているが、燃料改質器を用いた場合には、天然ガスやメタノール等他の燃料も燃料電池のエネルギー源として使用可能である。燃料電池の船用利用の研究は進んでいるが、既存の船用動力技術と競合するには更なる進化が必要である。克服すべき課題は、高投資コスト、燃料電池の大きさと重量、電池寿命等である。水素燃料の船内貯蔵に関する安全性確保も課題の一つである。

欧州では、水素燃料は主に燃料電池のエネルギー源として、既にオフショア船、フェリー、潜水艦、プレジャーボート、河川船等の比較的小型の船舶において実用化されており、日本でも水素燃料電池船の実証実験が始まっている。

次の課題は、クルーズ船等の大型船への水素燃料電池の導入である。また、水素燃料が燃料電池ではなく従来のエンジンを直接駆動する船舶も最近実用化されており、水素燃料の用途は広がりつつある。しかしながら、船用燃料としての水素の利用に関する国際的な規制環境は未整備である。

液体水素燃料電池クルーズ船：Viking Cruises

2017年9月、米国に本社を置くクルーズ船社 Viking Cruises は、液体水素を燃料とした燃料電池を使用する世界初のクルーズ船の開発プロジェクトを発表した。開発されるゼロ排出クルーズ船は、全長 230m、乗客数 900 人、乗員数 500 人程度となる予定である。

開発されるクルーズ船は、ノルウェー国際船級（NIP）を取得予定で、Viking Cruises は既にノルウェー海事局との検討を開始している。同社の新造クルーズ船 8 隻は NIP 船級である。

液体水素の船用利用に関しては、低温貯蔵（-253℃）と揮発性の高さが問題となる。開

⁵⁶ Wikipedia

発されるクルーズ船では、燃料電池が水素を電気に変換し、推進力と船内電力を供給する。

現在、欧州では水素燃料の大量生産は行われていないが、Viking Cruises は、ノルウェーのエネルギー企業 Statoil とノルウェー国内における水素燃料調達に関する話し合いを進めている。開発プロジェクトでは、水素バンカリングバージの建造も視野に入れている。

57

Royal Caribbean のパイロット実験

2017年11月、米国クルーズ船社 Royal Caribbean International は、クルーズ船に燃料電池を設置する計画を発表した。同社が建造予定の Icon クラスのクルーズ船への燃料技術応用への準備として、まず既存クルーズ船においてパイロット実験を行う。乗客数約5,000人の Icon クラスのクルーズ船は、2022年～2025年にフィンランド造船所 Meyer Turku で建造される予定である。

Royal Caribbean International は、2017年に既存の Oasis クラスのクルーズ船でパイロット実験を開始した後、次に今後数年間に建造される Quantum クラスにおいて大型化したシステムの実験を行う計画である。

パイロット実験では、スイス ABB の出力 100kW の燃料電池とコントロール、コンバーター、トランスフォーマー技術を用いる。同システムの開発、船用化、組立て、試験は、ABB Marine & Ports が担当した。同社は、パイロットシステムとして、カナダ Ballard Power Systems のプロトン交換膜水素燃料電池「FCvelocity」を採用した。

ABB は、過去 25 年間次世代技術と考えられていた燃料電池の実用化がついに現実となると述べている。

水素燃料カタマラン型旅客船「Hydroville」

2017年11月に命名式が行われたカタマラン型フェリー「Hydroville」は、水素燃料でディーゼルエンジンを直接駆動する世界初の旅客船である。

同船は、アントワープ（ベルギー）の海事グループ Compagnie Maritime Belge (CMB) が所有運航する。約 100 隻を運航する同社とその子会社 CMB Technologies は、2016年6月に、自社船隊のグリーン化を目指し、水素を燃料とする小型高速船「Hydroville」の開発を開始した。同船（14 m×4.2 m、座席数 16 席）は、主に CMB の従業員を通勤ラッシュ時にアントワープから郊外のクライベークに運ぶ河川シャトル船として用いられる。最大速度は 27 ノットである。

⁵⁷ Maritime Executive, 3 October 2017

同船は、燃料タンクとして水素タンク 12 基 (205 リットル、200bar)、及び点火用燃料とバックアップ燃料としてディーゼルタンク 2 基 (265 リットル×2) を持つ。主機は英国 ULEMC_o 社が開発した水素 DF エンジン「H2ICED」2 基 (総出力 441kW) である。「H2ICED」エンジンは主にトラックに利用されている。



水素燃料カタマラン型旅客船「Hydroville」

出所：CMB

CMB が燃料電池ではなく内燃機関を選んだ理由は、燃料電池は船舶や航空機等の重量のある輸送機関の動力源としては最適ではないからである。主機として船舶を駆動するためには、燃料電池は非常に大きくなり、そのコストと重量を考えると経済的にも現実的な選択肢になり得ない。また、大型の電池の充電に掛かる時間も問題となる。CMB は、現時点で船舶及び航空機向けに採用可能なグリーンな燃料は水素かバイオ燃料であるとしている。CMB の次のプロジェクトは、CMB 所有のコンテナ船に水素燃料駆動の補機を搭載することである。⁵⁸

5-4-5. LPG

LPG (液化石油ガス) は、プロパンとブタンを液化したガス燃料である。石油ガスはマイナス 42℃で液体になり、体積が気体ガス時の 1/250 (LNG は 1/600) となる。LNG と異なり、空気よりも重く、低い場所に溜まる性質がある。

LPG は、化石燃料の中では炭素数が少なく、環境に優しいエネルギーである。CO₂ 排出量は LNG とほぼ同じで重油と比較して約 20%減、NO_x 排出量は 15~20%減、SO_x 排出量は 99.9%減となる。また、排気ガスは煤や灰分を排出しない。

石油ガスは、石油とガス生産の副生ガスである他、石油精製過程でも分離される。副生ガスから不純物を取り除き、圧縮装置や冷却容器で液化したものが LPG である。また、

⁵⁸ <https://www.cmb.be/en/new/antwerp-maritime-group-cmb-pioneers-environmentally-friendly-shipping-the-hydroville-is-hydrogen-powered>

植物油や動物性脂肪から生産される再生可能ディーゼル燃料の副生燃料としてバイオガスの生産も可能である。

LPG は、常温でも 8 気圧と比較的低い圧力で液化し、タンク（ボンベ）に充填して運搬がしやすいため、日本では主に家庭用プロパンガスや自動車燃料、特にタクシー燃料として利用されており、最終エネルギー消費量の約 5%を占めている。

世界 LP ガス協会（WLPGA）によると、世界の LPG 生産量（2015 年）は 2 億 8,400 万トンで、熱量では石油 3 億 1,000 万トン分に相当する。なお、世界の船舶による年間燃料消費量は、約 3 億 700 万トンである。LPG は、船用燃料として石油の代替燃料の一つとなり得るには十分な量があると言える。DNV GL の調査では、LPG は LNG や他の低硫黄分燃料に対する価格競争力がある。

LPG バンカリングインフラは未整備である。しかしながら、LPG ターミナルは世界に点在しているため、LNG と違って既存サプライチェーンを利用可能で、かつ導入コストが安いメリットがある。⁵⁹

輸送に関しては、LNG と同様に、1986 年以降に建造された全ての液化ガス運搬船に強制的に適用される「液化ガスのばら積み運送のための船舶構造及び設備に関する国際規制」（IGC コード）が適用される。船用燃料としての LPG の使用に関する国際安全基準は今後策定される必要がある。船級協会は暫定基準を整備し始めている。

現在、LPG 燃料が使用可能なエンジンとしては、MAN Diesel & Turbo のディーゼルサイクルの 2 ストロークエンジン「MAN ME-LGI」シリーズ、Wärtsilä のオットーサイクルの希薄燃焼 4 ストロークエンジン「Wärtsilä 34SG」シリーズ（現時点では陸上発電用）の他、GE のガスタービン「LM2500」シリーズがある。

MAN ME-LGI エンジンの例では、LPG 燃料を使用した場合、重油燃料と比較して SO_x 排出量が 90～97%、NO_x 排出量が 15～20%削減される。GHG 排出量も LNG とほぼ同等のクリーンなエネルギーである。⁶⁰

結論として、LPG は将来的には有効な船用代替燃料となる可能性がある。船用燃料としての LPG の利点は、LNG に比べて容易に液化できるため、初期投資コストが抑えられること、既に世界中で使用されているため供給可能拠点多く、将来的には世界中の港湾を航行する不定期船への供給も可能なこと等が挙げられる。⁶¹

⁵⁹ アストモスエネルギー

⁶⁰ LPG as marine fuel, DNV GL

⁶¹ <http://www.lpgc.or.jp/corporate/webreport/201709contents1.html>

一方、LPG のデメリットとしては、空気より重いため、漏れた場合にエンジン室等船体の下部に溜まれば爆発の危険性が高まること、LNG より圧縮率が低いためタンクが大型化すること、世界的に LPG は従来家庭用燃料としてのプレミアム燃料であり、船用燃料としての可能性への認識が低いこと等が考えられる。

表：化石燃料の特性比較

	C 重油	LNG (メタン)	LPG (プロパン)
沸点	150℃以上	-161℃	-42℃
引火点	70～230℃	-187℃	-104℃
密度	0.87～1.0g/cm ³	0.46g/cm ³	0.508g/cm ³ (15℃)
貯蔵	常温常圧	超低温	常温高压
品質	国や原料毎に差異あり	Rich/lean の差異あり	世界中で均一
熱量等価重量比較	1	0.82	0.87
熱量等価体積比較	1	1.74	1.68

出所：アストモスエネルギー

LPG 燃料船の実用化に関しては、米国 GE と韓国の船舶設計企業 Far East Ship Design & Engineering Co (FESDEC)、船社 DINTEC、燃料タンク企業 Cryos、韓国 LPG 産業協会、船社 Youngsung Global が、GE のガスタービンと蒸気タービンを組み合わせた複合推進 (COGES) システムを搭載した世界初の LPG 燃料フェリーの共同開発プロジェクトを 2016 年 11 月に開始した。⁶²

また、2016 年には、LPG の船用利用に関する共同開発プロジェクト「LPGreen」も始動した。プロジェクト参加企業は、ギリシャ船社 Consolidated Marine Management (CMM)、韓国現代重工、Wärtsilä Oil & Gas (WAR)、DNV GL である。⁶³

上記の 2 プロジェクトとともに、韓国は LPG 燃料の船用利用を進めており、2018 年 1 月 29 日、韓国 LPG 協会は、LPG バンカリングハブと関連施設の建設計画について GE 等と覚書を締結したと発表した。当該施設が完成すれば、世界で初めての LPG バンカリングハブとなり、当面は韓国内航航路や、韓日間、韓中間を運航する LPG を燃料とするカーフェリーの利用を念頭に置く。LPG を燃料とする船舶の建造契約も本年第 1 四半期に行われる予定である。⁶⁴

⁶² LNG World Shipping, 16 Nov 2016

⁶³ <https://www.green4sea.com/lpgreen-making-progress-into-lpg-as-alternative-fuel/>

⁶⁴ <http://m.pulsenews.co.kr/view.php?year=2018&no=60613>

2016年には、LPG元売り事業者アストモスエネルギー（本社：東京）が、自社船団へのLPG燃料船の導入に向け本格的な検討を開始するとともに、欧州、豪州、中東のエネルギー企業と協働し、船用LPGバンカリング拠点網の整備に着手した。2017年7月には、Statoilと船用LPG燃料の共同開発に関する覚書を交わした。Statoilの欧州におけるLPGバリューチェーンとノウハウを活かし、船用燃料としてのLPGの新たな需要を開拓していく計画である。⁶⁵

規制に関しては、IMOにおいて、低点火点燃料の安全規則であるIGFコードにLPG燃料が含まれておらず、LPG業界は早期策定を求めている。

⁶⁵ 日本海事新聞、2017年7月13日

6. 欧州の代替燃料振興政策及び補助金制度

海運の環境性向上を目指し、世界各地では様々なインセンティブが実施されている。その手法としては、環境船舶指標（Environmental Ship Index：ESI）や港湾税の割引を始めとする自主的ステム、環境技術への投資コストを補助するビジネス基金や国家補助金制度等がある。

EU は、EU 域内の自由競争と自由貿易維持の観点から、原則として EU 加盟国政府による特定企業への国家補助を禁止しているが、欧州経済全体の発展に寄与すると認められた場合には例外を許可している。また、全ての個人と企業が対象となる補助金や優遇税制等は、国家補助金には含まれない。⁶⁶

6-1. EU 補助金制度

EU は、欧州の競争力強化を目指し、各産業分野の発展と新技術の開発に関するプロジェクトに対して様々なプログラムや基金から補助金を交付している。

現行の最大の EU 研究開発プログラムは、1983 年～2003 年に実施された「研究・技術開発フレームワーク・プログラム」の後継プログラムとして 2014 年に開始された「Horizon 2020」である。2014 年～2020 年のプログラム実施期間中の補助金予算総額は 800 億ユーロである。

プログラムには優先課題があり、EU 補助金交付の対象となるプロジェクトは、単独の企業ではなく、複数の EU 加盟国・準加盟国から 3 件以上の企業・組織が参加する共同研究開発プロジェクトでなければならない。EU 以外の第三国の企業・組織の参加も可能である。

EU は、欧州の成長及び雇用戦略である「欧州 2020 年戦略」（Europe 2020 Strategy）と 2011 年欧州委員会交通白書⁶⁷の中で、2050 年までに輸送機関から排出される GHG を 1990 年レベルの 60%減とすることを目標と定めている。また、船舶からの排出削減目標は最低 40%である。

そのため、脱炭素化を目的とした新技術とイノベーションの開発プロジェクトは優先分野の一つで、EU 補助金の対象となる。EU は、2014 年の EU 指令（DIRECTIVE 2014/94/EU⁶⁸）において、LNG を含む代替燃料とそのインフラ整備に関するプロジェクトに焦点を当てている。

⁶⁶ http://ec.europa.eu/competition/state_aid/overview/index_en.html

⁶⁷ "Roadmap to a Single European Transport Area – Towards a competitive and resource efficient transport system"

⁶⁸ http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=uriserv:OJ.L_.2013.348.01.0001.01.ENG

また、船用代替燃料を含む欧州輸送機関全般への EU 補助金制度としては、1996 年に開始された「Trans-European Transport Networks」(TEN-T) 促進のためのプログラムがある。TEN-T 関連プロジェクトへの補助金は、TEN-T 予算から直接給付される他、EU 各加盟国政府、地方自治体を通じて交付される。欧州地域開発基金等の EU 基金から給付される場合もある。プロジェクトは欧州投資銀行等の国際金融機関、又は民間金融機関からの融資の対象となる。

さらに、2014 年、EU は、欧州のエネルギー、交通、通信ネットワークの 3 優先分野のインフラへの投資促進を目的とした「コネクティング・ヨーロッパ・ファシリティ」(CEF) という補助金制度を開始した。2014 年～2020 年期の予算総額は 240 億 5,000 万ユーロで、TEN-T の補助金を補充するものとなる。⁶⁹

船舶の LNG 燃料利用と関連インフラに関する TEN-T 助成プロジェクトの代表例としては、2013 年～2015 年に実施された「LNG Masterplan」プロジェクトがある。同プロジェクトは、ライン川、マイン川、ドナウ川の河川船への LNG 燃料導入に関する共同研究開発プロジェクトで、EU12 か国とスイスから 33 企業・組織が参加した。プロジェクト総予算 80,520,000 ユーロのうち 50%を EU が拠出した。⁷⁰

LNG バンカリング関連のプロジェクト例としては、2014 年、EU は、スペインとフランスの LNG バンカリングインフラ整備に関するプロジェクトに対し、100 万ユーロの TEN-T 補助金の給付を決定した。また、ロッテルダム港とヨーテボリ港は、LNG ターミナル建設資金の一部として TEN-T から 3,400 万ユーロの補助を受けている。

6-2. ノルウェー

6-2-1. NOx 基金

ノルウェーの環境補助金制度の一つである NOx 基金 (NOx-fund)⁷¹は、ノルウェー政府とノルウェー産業間の NOx 排出量削減政策と減税措置に関する合意である。同基金は、2007 年に導入されたノルウェー政府による船舶への NOx 排出課税がきっかけとなって創設された。

基金参加企業は、NOx 排出量 1kg につき 17.33NOK (ノルウェー・クローネ) の税金を支払う代わりに、NOx 排出量 1kg につき 4NOK を NOx 基金に払い込み、NOx 削減策への補助金を受ける。

基金は、NOx 排出削減技術を導入する企業に対して投資額の最大 80%までの補助金を

⁶⁹ https://ec.europa.eu/transport/themes/infrastructure/ten-t-guidelines/project-funding/cef_en

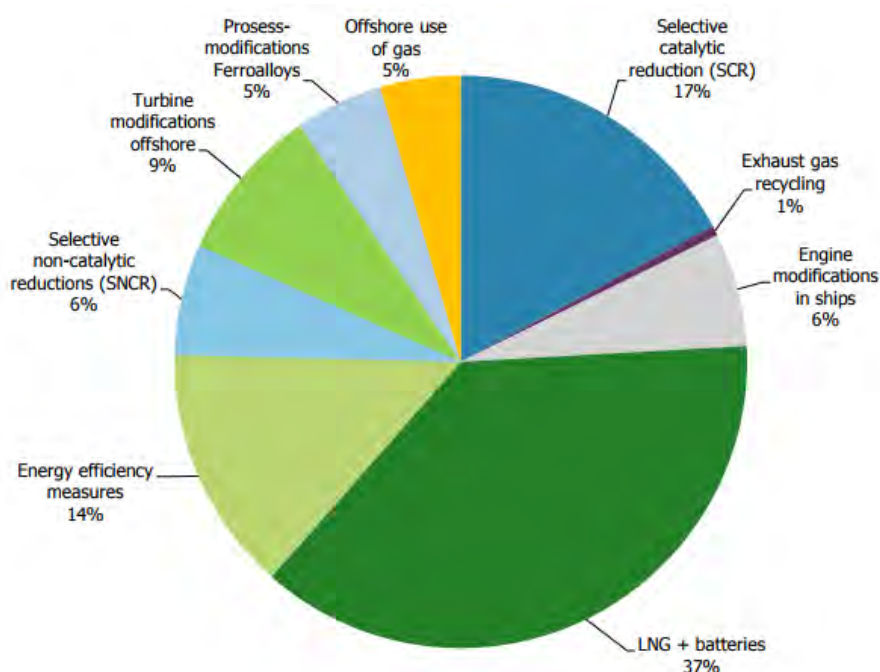
⁷⁰ <https://www.prodanube.eu/download-pdi?layout=edit&id=127>

⁷¹ <https://www.nho.no/Prosjekter-og-programmer/NOx-fondet/>

給付する。補助を受けることの出来る NOx 削減技術としては、LNG、選択触媒還元 (SCR) システム、電池推進及びハイブリッド船、低 NOx エンジン、エンジン交換、排ガス再循環 (EGR) システム、様々な省エネ技術等がある。また、LNG バンカリングインフラの整備と陸上電力供給システムの設置も補助の対象となる。

NOx 基金は、2030 年時点のノルウェーの GHG 排出量を 1990 年レベルから 40%削減することを目標としている。ノルウェーの船舶は、同国の GHG の約 9%を排出している。

同基金は、2015 年 7 月時点で 861 社の会員を持ち、これまで 1,000 件以上の NOx 削減プロジェクトに対し、40 億 NOK (年間約 7,500 万ユーロ) の補助金の給付実績がある。下図のとおり、その 3 分の 1 以上は LNG 燃料と燃料電池に関連したプロジェクト向けである。ノルウェー船舶への NOx 削減装置 SCR の搭載も進んだ。



図：ノルウェーNOx 基金による NOx 削減手段 (2011~2017 年)

出所：NOx 基金⁷²

2008 年時点にはノルウェーの船用燃料の僅か 3%に過ぎなかった LNG 燃料は、2016 年には約 25%に急増しており、現在、ノルウェーは世界の LNG 燃料船の 81%を有している。

73

このように、NOx 基金は大きな成功を収め、2017 年 6 月、ノルウェー気候環境省とノルウェー産業界は、更なる NOx 排出量削減に向けて 15 非政府組織 (NGO) と NOx 基金

⁷² Norwegian NOx Fund as a driving force for LNG use, Geir Høiby, Special adviser, The Business Sectors NOx-fund, Norway, January 2014

⁷³ http://www.lngworldshipping.com/news/view,norwegian-co2-fund-could-boost-lng-takeup_38541.htm

の継続に向けた新たな環境合意を締結した。15 非政府組織とは、NOx 排出課税の対象となる企業を代表する石油ガス産業協会、船主協会、漁業協会、漁船船主協会、沿岸海運協会、高速船協会、航空協会等の業界団体である。

ノルウェー産業界は、2025 年までに年間 NOx 排出量を 16,000m³ 削減する。環境合意は、ノルウェーが国際的な排出削減目標を達成するための重要なツールである。今回の環境合意は 2018 年から 8 年間有効で、3 度目の NOx 削減に関する環境合意となる。

NOx 基金は、ノルウェー海事産業の大規模な NOx 削減技術導入を可能にし、NOx 削減装置や関連システムのメーカーや造船所にとっては新市場を創出した。NOx 削減システムや LNG 燃料船、燃料電池船の本格的導入により、ノルウェーの内航海運の環境性は世界に先駆けて大きく向上した。

新環境合意は、参加企業の 2 年毎の NOx 総排出量の上限を定めている。排出量上限は徐々に厳格化し、2016 年からの 2 年間は年間 97,000 トン、最後の 2 年間（2024 年～2025 年）は年間 81,000 トンである。

この排出量上限を満たすために採用する方策は、参加企業・組織が独自に決定することが出来る。排出量の上限を超えた場合には、超過量に応じて国家に税金を支払うこととなる。⁷⁴

NOx 基金の成功を受け、ノルウェーでは、NOx 基金をモデルとし、更に幅広い産業に適用される CO₂ 基金の設立を検討している。この基金が設立されれば、更に LNG 燃料の利用が促進される可能性がある。

6-2-2. その他の助成プロジェクト

ノルウェーでは、NOx 基金以外にも、船舶による排出の削減を目指した様々な助成プロジェクトが実施されている。

ノルウェー政府は、公共交通機関としての定期フェリーやスピードボート等の内航船のゼロ排出化を目指している。2016 年 9 月に開始された「Pilot-E プログラム」では、ノルウェーの研究開発機関であるノルウェー・リサーチ・カウンシル、Innovation Norway、Enova が、革新的なゼロ排出船の建造に 6,500 万 NOK（ノルウェー・クローネ）を拠出している。

また、ノルウェー西岸の海事クラスター「Maritime CleanTech」は、世界初の電気推進貨客フェリー「Ampere」の開発プロジェクトを補助し、同船は 2016 年に就航した。同海

⁷⁴ <http://norwaytoday.info/finance/nox-agreement-government-industry/>

域では、2001年に世界初のLNG燃料フェリー「Glutra」が就航している。

さらに、2015年1月にDNV GLと共同で開始したノルウェーの「Green Coastal Shippingプログラム」は、燃料電池やLNG等の環境に優しい船用燃料を使用する次世代ノルウェー船隊の構築を目指している。同プログラムの目標は、産業間の協力強化、高環境性技術の市場構築、船主の資金力強化、輸送産業のCO₂基金設立、新燃料の供給体制の整備等である。⁷⁵

2017年11月には、ノルウェー・リサーチ・カウンシルからの補助金590万NOKを受け、Rolls-Royce、フェリー船社Color Line及びNorled、ノルウェー沿岸管理局が共同で電気推進船に関する研究開発プロジェクト「ゼロ排出フェリー」を開始した。⁷⁶

6-3. ドイツ：LNG燃料船への補助金制度

2017年8月、ドイツ連邦交通・デジタルインフラ省（BMVI）は、LNG燃料船建造又はレトロフィットへの補助金制度を開始した。

この補助金制度は、ドイツ産業の競争力維持と排出削減を目指すドイツ海事産業が待ち望んでいたものである。ドイツ船主協会（VDR）は、欧州で就航中のLNG燃料船は全て何らかの国家補助を受けて建造されていると指摘し（2015年10月時点）、LNG焚きエンジンは従来のディーゼルエンジンよりも30%以上高いため、LNG燃料船建造又はレトロフィット1隻につき1,500万ユーロ程度の国家補助を求めている。⁷⁷

ドイツ政府のLNG補助金は、IMO NO_x 3次規制を満たす海洋船の新規プロジェクトのみが対象となる。具体的には、LNG燃料を使用するDFエンジン又はガスエンジンを搭載する新造船、又は既存ディーゼルエンジンをDFエンジン又はガスエンジンに改造又は取り換える場合に適用される。ボイラー等LNG焚きの補助システムも補助の対象となる。

補助の対象となる船舶は、ドイツ船籍又は他のEU加盟国船籍、もしくは主に欧州海域で運航する海洋船でなければならない。

対象となる船舶の船主・船社は、環境保護コスト、又は従来システムとLNG燃料システムへの投資の差額に対する補助を申請することが出来る。BMVIの規定では、コストの最大40%の補助を認めている。中小企業には優遇措置があり、従業員250人までで年間売上5,000万ユーロまでの企業への補助金は投資コストの最大50%、従業員数50人までで年間売上1,000万ユーロまでの企業に対しては最大60%となっている。

⁷⁵ <https://www.green4sea.com/norway-opts-for-greener-future-fleet/>

⁷⁶ Marinelog, NOVEMBER 29, 2017

⁷⁷ http://www.lngworldshipping.com/news/view,german-shipowners-reiterate-calls-for-lng-marinefuel-incentives_39380.htm

LNG 基金は、GHG 削減を目指して代替燃料と関連システムを促進するドイツ連邦政府の「モビリティと燃料政策」(Mobilitäts- und Kraftstoffstrategie : MKS) の一環である。

78

6-4. フランス：船用 LNG 燃料普及への支援策

2017 年 11 月 21 日、フランス首相はルアーブルで開催された海事系の会議で、船舶のクリーンな燃料として LNG の普及を図るため、同国の港湾において必要となる供給インフラの整備を支援すると発表した。⁷⁹

同政府は法改正して、港湾における LNG 燃料の補給を可能とし、LNG をバンカーとする新船建造やエンジンの技術開発に対し新たな税制上の優遇措置も導入する。また、港湾における停泊中の船舶への陸上電力供給設備を整備する。さらに、港湾事業への参入に関する手続きを簡素化する。フランス政府の狙いの一つは、港湾を近代化することにより、海運、鉄道、内陸水運等の輸送モードの接続性を向上させることである。⁸⁰

LNG は、従来小型船の燃料としては採用されていたが、2020 年からの SO_x 規制強化に適応するため大型船の燃料としても導入が検討されるようになった。

同じく 11 月 21 日、フランス CMA CGM は、22,000TEU 型の新造超大型コンテナ船 9 隻の燃料として世界で初めて LNG を採用すると発表した。新造コンテナ船は 18,000m³ の大型 LNG 燃料タンクを船橋の真下に設置し、大陸間の長距離航行を可能にする。

フランス政府の支援策発表は、フランス国内の港湾及び海上輸送の競争力を強化すると同時に、同社の巨大 LNG 燃料コンテナ船の建造計画やフランスのエネルギー企業 Total の積極的な LNG バンカリング市場参入の動きと連携したものであると思料される。

6-5. ロッテルダム港：LNG バンカリングへのインセンティブ

2015 年 12 月、ロッテルダム港湾局（オランダ）は、同港で LNG バンカリングを利用する海洋船に対し、入港税を 10%割引すると発表した。このインセンティブは 2020 年まで適用され、ロッテルダム港は必要資金として 150 万ユーロを確保している。

ロッテルダム港では、2017 年に Shell が新造 LNG バンカー船を投入するなど、LNG バンカリングインフラの整備とともに寄港船の LNG 燃料の利用を促している。

⁷⁸ <https://www.deutsche-flagge.de/en/news-items-on-the-home-page/new-government-funding-for-lng-in-force>

⁷⁹ Reuters, November 21, 2017

⁸⁰ World Maritime News, November 24, 2017

ロッテルダム港は、これ以外にも船舶の環境性を指標化した「**Environmental Ship Index**」やグリーンアワード等の環境性の高い船舶へのインセンティブを実施しており、関連年間支出は150万～200万ユーロである。⁸¹

欧州では、ヘルシンキ港、タリン港、バルセロナ港を始めとする他の多くの港湾も、入港税割引、トン税割引等 LNG 燃料船へのインセンティブを独自に実施している。

⁸¹ <http://maritime-connector.com/news/port-and-shipbuilding/new-incentive-for-ships-that-bunker-lng-in-rotterdam/>

7. LNG 燃料船の使用環境：バンカリングインフラ

7-1. 世界の LNG バンカリングインフラ整備状況

現在、LNG 燃料を使用する船舶は、主に ECA を航行しているため、LNG バンカリングインフラも欧州北西部（ロッテルダム、ストックホルム、ゼーブルッヘ等）、米国メキシコ湾岸と東海岸（ジャクソンビル、フォーション等）に集中している。

近年は、シンガポールや中国等アジアの主要貿易港でも LNG バンカリングインフラが整備されつつある。

現在、世界には 60 か所の LNG バンカリング施設があり、DNV GL によると、更に 28 か所が計画中、少なくとも 36 か所が検討中である。



図：世界の LNG バンカリングインフラ分布

出所：SEA\LNG

EU は、2014 年に発効した EU 指令（DIRECTIVE 2014/94/EU）⁸²で、LNG を含む代替燃料の供給インフラの開発、整備を促している。LNG バンカリング施設には、LNG ターミナル、タンク、移動式コンテナ、バンカー船とバージが含まれる。

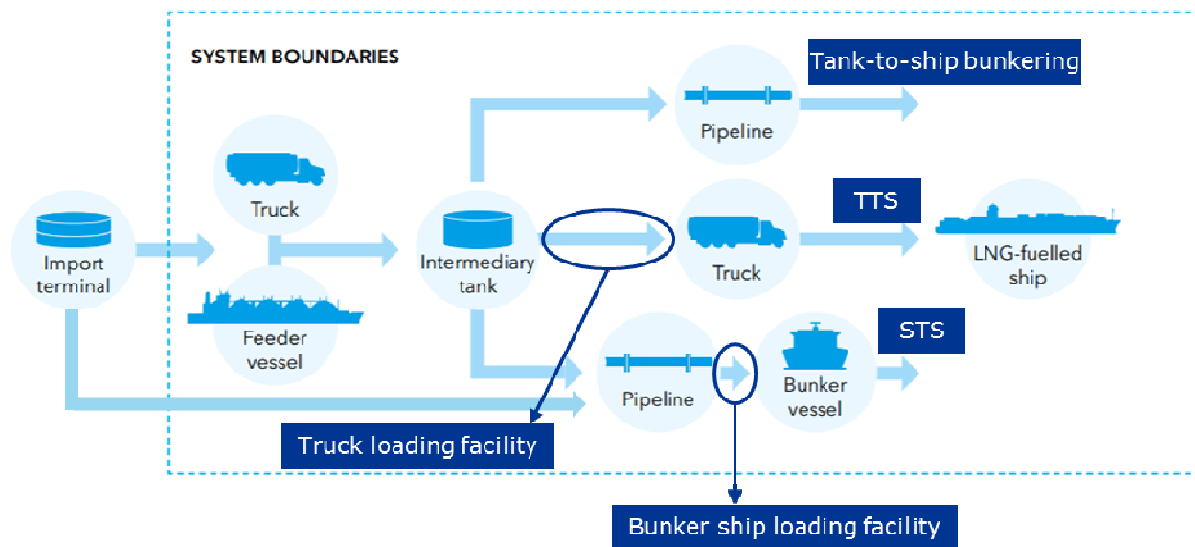
7-2. LNG バンカリング方法

船舶を含むエンドユーザーへの LNG 燃料の供給には、LNG ターミナル又はガス供給網

⁸² <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=celex%3A32014L0094>

からの様々な経路と方法がある。代表的なバンカリング方法では、エンドユーザーとしての LNG 燃料船には、パイプライン、トラック、バンカー船から LNG 燃料が供給される。

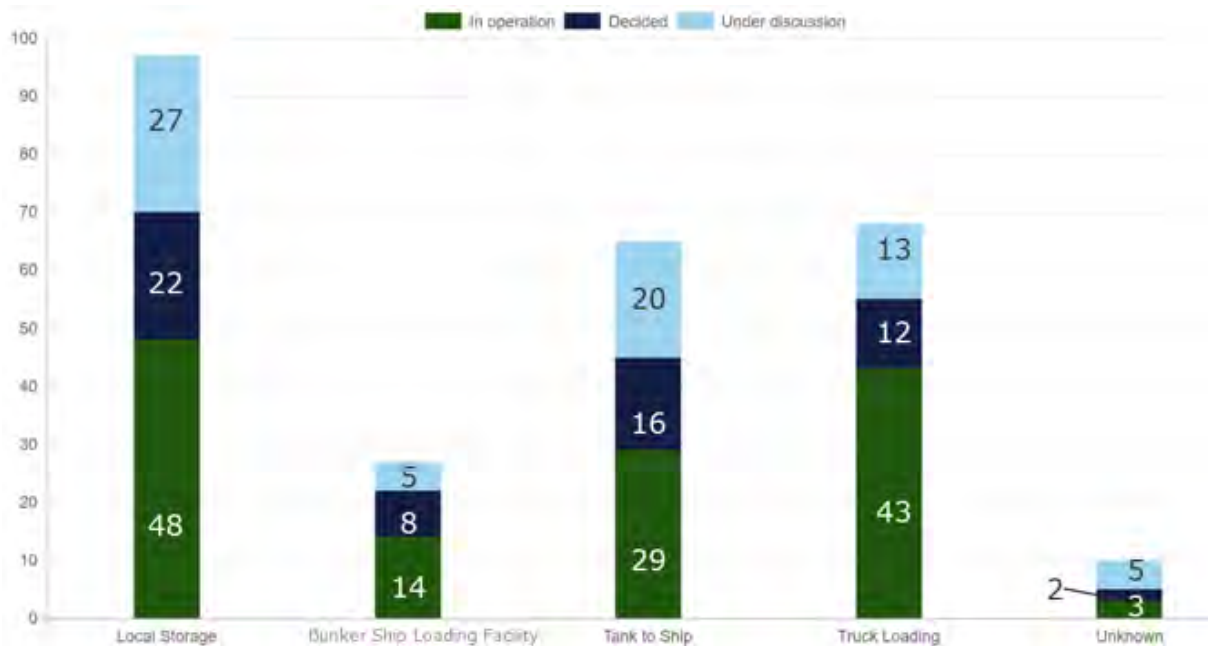
なお、LNG 燃料の供給チェーンには、下図に示す以外にも様々な方法と複数の方法の組み合わせがある。LNG 受入基地には、陸上又は洋上／浮体式（FSRU）がある。また、現在就航中のバンカー船は、フィーダー船を経由せずに大型 LNG 受入基地から直接 LNG を積み込むことも可能である。



図：LNG 燃料船への燃料供給チェーン

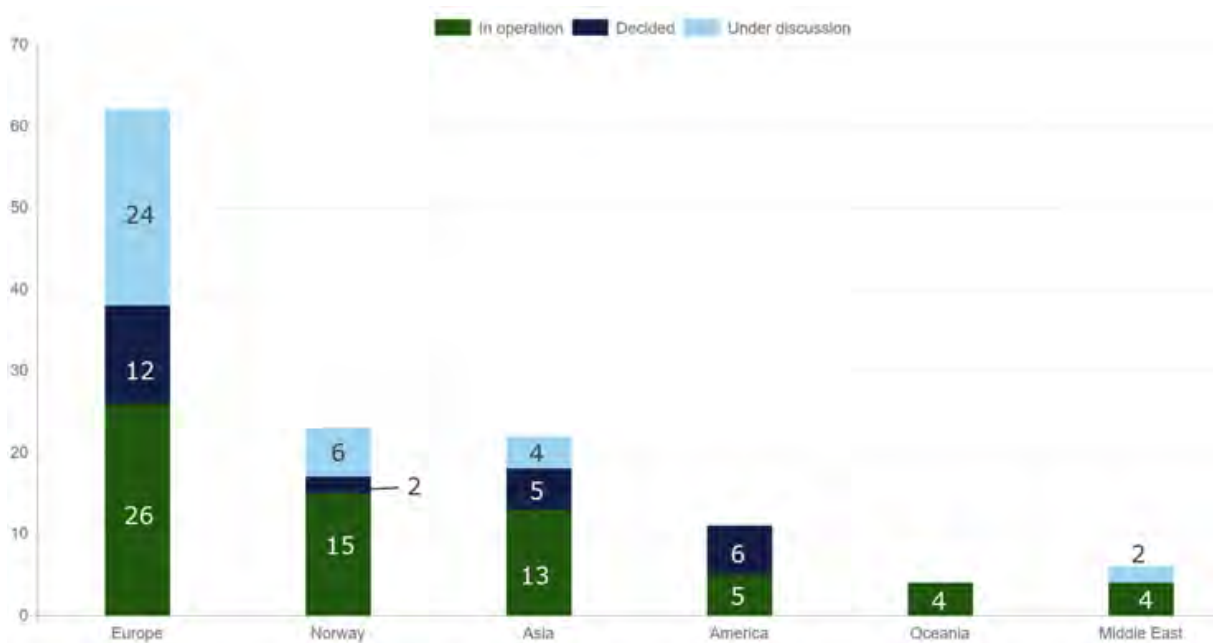
出所：DNV GL

下図のとおり、世界の LNG バンカリング施設の多くはローカルな LNG 貯蔵設備を持ち、トラックから船舶へ LNG バンカリングを行っている。また、LNG インフラは計画中の拠点も含め、ノルウェーと欧州に集中している。



図：世界の種類別 LNG バンカリング施設数（複数回答、上から計画中、決定済み、操業中）

出所：DNV GL



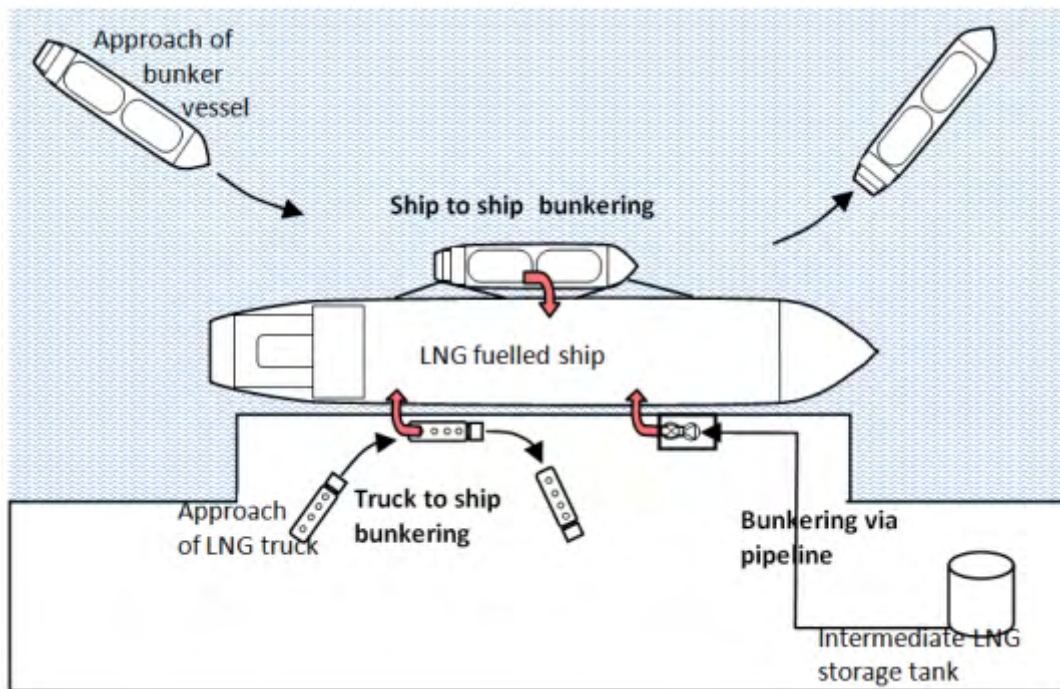
図：世界の地域別 LNG バンカリング拠点数（全 128 拠点、上から計画中、決定済み、操業中）

出所：DNV GL

代表的なバンカリング方法

現在利用されている船舶への代表的な LNG バンカリング方法には、LNG バンカー船による船舶間移送「ship-to-ship」(STS) 方式、陸上の LNG タンクローリー（トラック）から補給する「truck-to-ship」(TTS) 方式、陸上 LNG 基地又はタンクからパイプラインで供給する「shore-to-ship」方式（又は「terminal (tank) -to-ship via pipeline」(TPS)

方式) という 3 つの方法がある。



図：船舶への LNG バンカリング方法

出所：IMO

表：LNG バンカリング方法の利点と欠点

	船舶間移送 (STS 方式： ship-to-ship)	トラック→船舶移送 (TTS 方式： truck-to-ship)	陸上→船舶移送 (パイプライン経由) (shore-to-ship 又は tank-to-ship 又は port-to-ship)
利点	柔軟性 バンカリング速度の速さ 大量バンカリングが可能 洋上バンカリングによる市場拡大	柔軟性 低コスト (設備投資及び運営)	利用可能な燃料が多い 大量バンカリングが可能 迅速なバンカリング作業が可能
欠点	港湾内の操船性 高コスト (設備投資及び運航)	バンカリング可能量の少なさ バンカリング速度の遅さ	特定埠頭のみで可能 ターミナルのスペースが必要

出所：DNV GL

「shore-to-ship」方式

陸船方式「shore-to-ship」（「tank-to-ship」、「port-to-ship」とも呼ばれる）は、港湾もしくはその近隣に大型 LNG ターミナル又は中継ターミナルがある場合のみに利用でき、また、タンクと港湾を結ぶパイプラインの設置が必要となるため、設置と管理コストが掛かる。また、港湾内にもタンク設置スペースの確保が必要とするため、この方式を利用できる港湾は限られている。LNG タンク容量は、ターミナルの大きさにより、20～100,000m³と幅がある。⁸³



「shore-to-ship」方式（ノルウェーRisavika 港）

出所：Furetank

「truck-to-ship」方式

最も初期投資が少なく、オペレーションも安価な「truck-to-ship (TTS)」方式は、内航船として LNG 燃料船の運航を開始したノルウェーを始めとする北欧を中心に利用されているバンカリング方式である。トラックのタンク容量（通常容量は約 50m³）により大型船への供給には制限があるため、主に沿岸フェリー、パトロール船、タグボート等の頻繁に寄港する小型船向けのソリューションである。大型船向けにはトラック 2 台で同時補給を行う例もある。

⁸³http://Inginbalticseaports.com/assets/files/do_pobrania/LNG_training_Stockholm/SSPA.PDF



「truck-to-ship」方式（トラック 2 台からの LNG 供給）

出所：Furetank

「ship-to-ship」方式

クルーズ船等 LNG 燃料船の大型化と運航範囲の拡大により、今後は供給量が多く、柔軟性の高い LNG バンカー船による STS バンカリングが増加すると考えられる。LNG バンカー船の LNG タンク容量は 500～20,000m³ で、トラックとの補給能力の違いは明らかである。港湾以外の海上、河川におけるバンカリングが可能であるという柔軟性の高さも利点である。欠点としては、初期投資と運航費用の高さと、船のサイズによっては小規模港湾内でのオペレーションが困難なことである。

2018 年 1 月現在、世界では 6 隻の LNG バンカー船が稼働しており、更に 4 隻が発注済みである。大手エネルギー企業 Total、Shell、Gas Natural Fenosa、ENN、Statoil 等は、船舶への LNG 燃料供給事業を本格化させ、LNG バンカー船投入を実施又は計画している。欧州では、河川港や河川船向けの小型バンカー船やバンカーバージ（ポンツーン）の利用も拡大している。



「ship-to-ship」方式

(LNG 運搬船「Coral Energy」から石油ケミカルタンカー「Ternsund」への LNG 供給)

出所：Anthony Veder

「FSRU to ship」方式

上記の代表的なバンカリング方式以外の例としては、リトアニア唯一の港湾であるクライペダ (Klaipeda) 港で採用された FSRU (Floating Storage and Regasification Unit : 浮体式 LNG 貯蔵再ガス化設備) から船舶へのバンカリングがある。FSRU は洋上に係留した浮体式 (船舶形状) の設備上に LNG を気体に戻すためのプラントを搭載した設備である。この「FSRU to ship」方式は、いわば STS/shore-to-ship 方式の中間となるものである。

リトアニアのガス供給企業 LITGAS は、高額なロシアからのパイプライン経由の天然ガス輸入への依存を軽減するために、2011 年に同国初の LNG ターミナル整備プロジェクトに着手し、大型陸上設備の必要がなく、設置が容易で投資額も比較的少ない FSRU 方式が選ばれた。LITGAS は、FSRU 方式は設備の整っていない小規模港湾には最適な LNG 基地であるとしている。

2014 年 10 月、LITGAS は同港に係留されたノルウェー Höegh LNG 社所有の FSRU 「Independence」(全長 294m、LNG 容量 170,132m³、2014 年韓国現代重工建造) からの LNG 受入れを開始した。以後、FSRU 「Independence」は、クライペダ港でバルト諸国唯一の LNG 受入れターミナルとして機能している。



FSRU「Independence」

出所：Höegh LNG

2017年1月には、FSRUから船舶へのLNG供給を開始した。最初のLNG供給は小型LNG運搬船「Coral Energy」のLNGリローディング（積替え）向けであったが、燃料としてのLNGバンカリングも可能である。クライペダ港では、陸上LNGターミナルのインフラ整備も進められており、近い将来には陸から船へのLNGバンカリングも開始する計画である。⁸⁴

7-3. バンカリング規制環境

LNGバンカリングには現時点では統一された規則がなく、バンカリング方法や場所、過程により様々な標準や規則が適用される。

例えば、前述の代表的なLNGバンカリング方法には、次のような異なる規則が適用される。

- 「ship-to-ship」(STS)方式：船舶に関しては、後述のIMOのIGFコード及びIGCコード
- 「truck-to-ship」(TTS)方式：可燃性ガスの道路輸送に関する各国規制
- 「shore-to-ship」(TPS)方式：各国又は各自治体の貯蔵タンクと危険物取扱いに関する規制

海事産業は、LNGバンカリングの安全性確保のため、IMO、EU、及び各国政府、自治体、港湾等の異なるバンカリング方法の標準と規制の統一と調和を求めている。

⁸⁴ LITGAS プレゼン資料、Höegh LNG、<https://www.lngworldnews.com/video-first-small-scale-lng-reload-in-lithuania/>

LNG バンカリング安全要件チェックリスト

国際港湾協会（IAPH）主導の下、世界の 55 港湾が結成した世界港湾気候イニシアティブ（WPCI : World Ports Climate Initiative）内の LNG 燃料船作業部会は、港湾における LNG バンカリングの安全要件の基本となるチェックリストを開発した。港湾毎に異なる規則や標準を統一することにより、LNG バンカリングの安全性と環境性を高めると同時に、ユーザー（船舶と乗組員）の利便性を高める。

チェックリストは、LNG バンカリングの代表的な 3 つの方法、即ち STS、shore-to-ship、truck-to-ship の安全要件をカバーし、また、港湾周辺の環境への配慮も含めることにより、LNG バンカリングオペレーターの質と責任感を向上させる。⁸⁵

また、国際港湾協会は、港湾が安全なバンカー事業者を認証する際のモデルとなる「バンカーサプライヤー認証」も開発している。

7-4. 欧州港湾の LNG バンカリングインフラ

LNG 業界団体 SEA\LNG によると、EU は各 EU 加盟国に最低 1 か所の LNG バンカリング港を整備することを優先政策の一つとしており、欧州の沿岸港及び河川港の約 10%、即ち 139 港が LNG バンカリングインフラを既に整備しているか計画中である。EU 内の沿岸港の LNG インフラは 2020 年までに、河川港の LNG インフラは 2025 年までに整備される予定である。既に LNG バンカリングインフラを持つ欧州の港湾、又は計画中の港湾の例と動向を以下に述べる。

⁸⁵ <http://lngbunkering.org/lng/bunker-checklists>



図：欧州北西部の LNG バンカリングインフラ分布

出所：DNV GL

アムステルダム港（オランダ）

欧州第 4 位の港湾であるアムステルダム港では、2013 年から内陸水路船向けにトラックによる LNG バンカリングを行っている。埠頭の改造により、現在ではトラックによる海洋船への LNG バンカリングも可能である。LNG バンカリングインフラの整備は、アムステルダム港を迅速、スマートでクリーンな持続性のある首都港として発展させる同港の政策の一部である。首都の内部にある港として、水、土、空気のコオリティ等環境性の維持とスペースの確保が課題である。



アムステルダム港：トラックによる LNG バンカリング

出所：アムステルダム港

ロッテルダム港（オランダ）

LNG 専用ターミナル「GATE（Gas Access to Europe）ターミナル」を持つ欧州最大の港ロッテルダム港は、LNG 燃料導入に積極的で、2014 年にはロッテルダム港の規則を改正し、LNG バンカー船による海洋船への船舶間の LNG バンカリングが公的に認められた初の港湾となった。それ以前には、トラックから河川船への LNG バンカリングのみが公的に認められていた。前述のように、同港で LNG バンカリングを行う船舶に対しては入港税を優遇している。



GATE ターミナル

出所：GATE Terminal

ケルン港（ドイツ）

ライン川、ドナウ川等の内陸水路の発達した欧州中西部では、LNG 燃料の導入は河川船から始まった。ライン川の河川港であるケルン港は、EU の「Connecting Europe Facility」からの補助を受け、ドイツ国内で初めて LNG バンカリング施設を設置した港である。

アントワープ港（ベルギー）

2016 年 4 月、アントワープ港とフランスのエネルギー企業 ENGIE は、同港の第 526 埠頭と第 528 埠頭に代替エネルギーハブ（Alternative Energy Hub）を建設する計画を発表した。建設される新ハブは、河川船とトラックへの LNG バンカリングステーションの他、圧縮天然ガス（CNG）の供給と電気自動車向け高速チャージも行う予定である。

地中海沿岸港：クルーズ船への LNG バンカリング

2017 年 12 月、ドイツ AIDA Cruises は、地中海沿岸の代表的なクルーズ寄港地であるバルセロナ港（スペイン）、マルセイユ港（フランス）、チヴィタヴェッキア港（イタリア）と、同社クルーズ船「AIDAprera」寄港中にトラックによる LNG バンカリングを行うことで合意した。運航時間の約 40%を港湾内で過ごすクルーズ船にとって、停泊中に LNG 燃料を利用することは周辺環境への配慮でもある。AIDA Cruises は、スペインのパルマデマヨルカ港とも同様の LNG バンカリング合意を検討中である。

なお、同船の姉妹船「AIDAprima」は、LNG 燃料を使用する初のクルーズ船であった。2016 年のハンブルク港を皮切りに、サウザンプトン港（英国）、ルアーブル港（フランス）、ゼーブルッヘ港（ベルギー）、ロッテルダム港（オランダ）でも LNG バンカリングが可能となった。同船は、現在のクルーズ海域である大西洋のカナリア諸島（スペイン）とマデイラ島（ポルトガル）でも LNG バンカリングを計画している。AIDA Cruises は現在更に LNG 燃料クルーズ船 2 隻を建造中である。

ゼーブルッヘ港（ベルギー）

ベルギー中部海岸のゼーブルッヘ港の LNG ターミナルは、1987 年に LNG タンク 3 基で稼働した欧州初の LNG ターミナルである。2004 年～2008 年には大規模な拡張が行われ、4 基のタンクが 380,000m³、即ち標準型 LNG 運搬船 3 隻分の LNG 貯蔵能力を持つ。さらに、2017 年には EU の TEN-T プログラムの支援を受けて建設された 2 本目の埠頭が稼働し、現在 5 基目のタンクを建設中である。

欧州北西部の LNG ハブとして、2008 年には大型 LNG 運搬船への LNG リローディング（積替え）を開始し、2010 年には小型 LNG 運搬船（フィーダー船）へのリローディング

グを行う欧州初の大規模 LNG ターミナルとなった。小型 LNG 運搬船は、トラック輸送に加え、オランダ、ドイツ、英国等欧州北西部への LNG の二次輸送を行っている。

ゼーブルッヘ港 LNG ターミナルを運営するガス企業 Fluxys Belgium、ENGIE、日本郵船、三菱商事が共同発注した世界初の LNG バンカー専用船「ENGIE Zeebrugge」（タンク容量 5,000m³）は、2017 年 2 月に就航した。ゼーブルッヘ港を母港とする同船は、毎週、同港に停泊中のノルウェー UECC 社所有の新造 LNG 自動車運搬船 2 隻の荷役作業中に LNG バンカリングを行っている。⁸⁶



ゼーブルッヘ港における STS バンカリング
(LNG バンカー船「ENGIE Zeebrugge」から UECC 自動車運搬船へ)
出所：UECC

ダンケルク港（フランス）

2017 年 7 月、ダンケルク港でフランス第 4 の LNG ターミナルを運営する Dunkerque LNG 社は、ダンケルク港と LNG バンカリングステーションの建設に関する合意を締結した。年間 130 億 m³ の再ガス化能力を持つダンケルクの LNG ターミナルは同年 1 月に稼働したばかりである。

両社は共同で、ダンケルク港の船舶向け、トラック向けの LNG バンカリング設備を整備し、同時にターミナルを拡張する。

Dunkerque LNG は、フランスのエネルギー企業 EDF が 65%、ベルギー Fluxy が 25%、Total が 10%を出資する合弁会社である。⁸⁷

⁸⁶ Fluxys プレゼン資料、http://www.gastechevent.com/sites/default/files/D3_T3_Peter%20Verhaeghe_Fluxys_0.pdf

⁸⁷ <https://www.lngworldnews.com/lng-bunkering-station-planned-for-dunkirk-terminal/>

カルタヘナ港（スペイン）

2017年4月、スペイン南部のカルタヘナ港のLNGターミナルにおいて、欧州初のterminal-to-ship（又はpipe-to-ship）方式のLNGバンカリングが行われた。

スペインのエネルギー企業 Repsol、ガス企業 Enagás、カルタヘナ港は、イベリア半島のLNGインフラ整備を促進するEU助成プロジェクト「CORE LNGas hive」で協力を行っており、Enagásが運営するカルタヘナLNGターミナルの埠頭は、terminal-to-ship方式のバンカリングに対応するため改造された。

初回バンカリングは、LNGターミナルからフレキシブルな超低温ホースを経由して、2017年3月に就航したDFエンジン駆動の新造アスファルト／瀝青／ケミカルタンカー「Damia Desgagnés」（全長135m、15,100DWT、カナダ船籍）に5時間掛けて370m³のLNGを供給した。これは、スペイン国内で行われたLNGバンカリングとしては最大規模である。



カルタヘナ港 LNG バンカリング（ターミナルからタンカー「Damia Desgagnés」へ）

出所：Enagás

スペイン国内でカルタヘナを含む6か所のLNGターミナルを運営するEnagásは、「CORE LNGas hive」プロジェクトの支援を得て地中海沿岸と大西洋岸のLNGバンカリングインフラの整備を進めている。⁸⁸

「CORE LNGas hive」プロジェクトには42企業・組織が参加しており、欧州北西部に比べてLNGバンカリングインフラが未整備であるイベリア半島を欧州LNGサプライチェーン

⁸⁸ <https://safety4sea.com/eus-first-lng-bunkering-from-regasification-plant-conducted/>
Enagás プレゼン資料

ーンのリーダーとすることを目的としている。2018年2月には、スペイン北部のビルバオ港では、LNGバンカリングバージによるスペイン初のSTSバンカリングを行った。⁸⁹

イミンガム港（英国）

2017年8月、イミンガム港は、船舶へのLNGバンカリングを行う英国で初めての港となった。初回のLNGバンカリングは、Flogas Britain社がノルウェーKGJ Cement社のセメント運搬船Ireland（2016年建造）にトラックからLNG燃料を供給した。イミンガム港は、国際的なLNGバンカリングの需要増加に対応していく計画である。

オスロ港（ノルウェー）

オスロ港では、2009年にtruck-to-ship方式のLNGバンカリングを開始した。2017年に同港に寄港した旅客船の総乗客数700万人のうち、420万人はオスロフィヨルド内を航行する小型、中型近距離船の乗客である。内航船としてLNG燃料船が普及したノルウェーでは、オスロ港を利用する年間300万人以上がLNG燃料船の乗客である。また、2016年以来、100万人の乗客は100%再生可能ディーゼル燃料で駆動される船舶の乗客である。

2020年までにはオスロフィヨルド内を航行する旅客船を化石燃料フリーとする計画があり、2018年には化石燃料を全く使用しない旅客船建造への入札が開始される予定である。代替燃料としては、バッテリー、水素、バイオガス、バイオオイル等を想定している。

オスロ港は、現在対応できない大型LNG燃料船のLNGバンカリングや上記のような代替燃料供給も可能なバンカリングインフラを持つ新ターミナルの開発を計画している。⁹⁰

ヨーテボリ港（スウェーデン）

2017年7月、スウェーデンのガス供給事業者Swedegasは、ヨーテボリ港のEnergy HarbourのSkarvik埠頭に新たなLNGバンカリングインフラを建設する計画を発表した。

新インフラは、LNGディスチャージ・ステーション、真空低温パイプライン、埠頭から船舶へのLNGバンカリング設備から構成される。LNGはトレーラー又はコンテナにより搬入され、ディスチャージ・ステーションで荷下ろしされる。ステーションからSkarvik埠頭までは450mのパイプラインで繋ぐ。これにより、寄港船は荷役作業とLNGバンカリングを同時に行うことが出来るため、特別なバンカリングストップの必要がなくなり、作業時間の短縮に繋がる。

⁸⁹ <https://worldmaritimenews.com/archives/244585/port-of-bilbao-conducts-first-ship-to-ship-lng-bunkering/>

⁹⁰ オスロ港プレゼン資料

新インフラは 2018 年中にフル稼働する予定である。同プロジェクトは EU の PCI (Project of Common Interest : 共同利益プロジェクト) ステータスを獲得しており、EU の INEA (Innovation and Networks Executive Agency) からの支援を受けている。



ヨーテボリ港 Energy Harbour

出所 : Baltic Transport Journal

同社は、船舶間の LNG バンカリングにも着手しており、2017 年 10 月、ヨーテボリ港で新造バンカー船「Coralus」から停泊中のスウェーデン Terntank 社のケミカルタンカー「Ternsund」(2016 年建造、Wärtsilä DF エンジン搭載) への STS バンカリングを初めて行った。

Skangas は、今後数年間に LNG バンカリングへの需要は急増すると見込んでいる。現行のトラックによる LNG バンカリング、建設中の新インフラに加え、新 LNG バンカー船の投入は、増加する需要に対応するための方策である。

ヨーテボリ港は、環境性の高い船舶への様々な入港税割引を実施しており、現在、寄港船の 3 分の 1 がその恩恵を受けているが、LNG 燃料船に対しては入港税が更に 20%割引となる。同港は、今後更に LNG 燃料船、特にクルーズ船の寄港を増やしたい考えである。

91

タリン港 (エストニア)

2018 年 1 月、多くの EU 及びノルウェーの港湾と同様に、タリン港も LNG を主要燃料として使用する船舶に対し、寄港時のトン税の 4%割引制度を開始した。

⁹¹ greenport.com

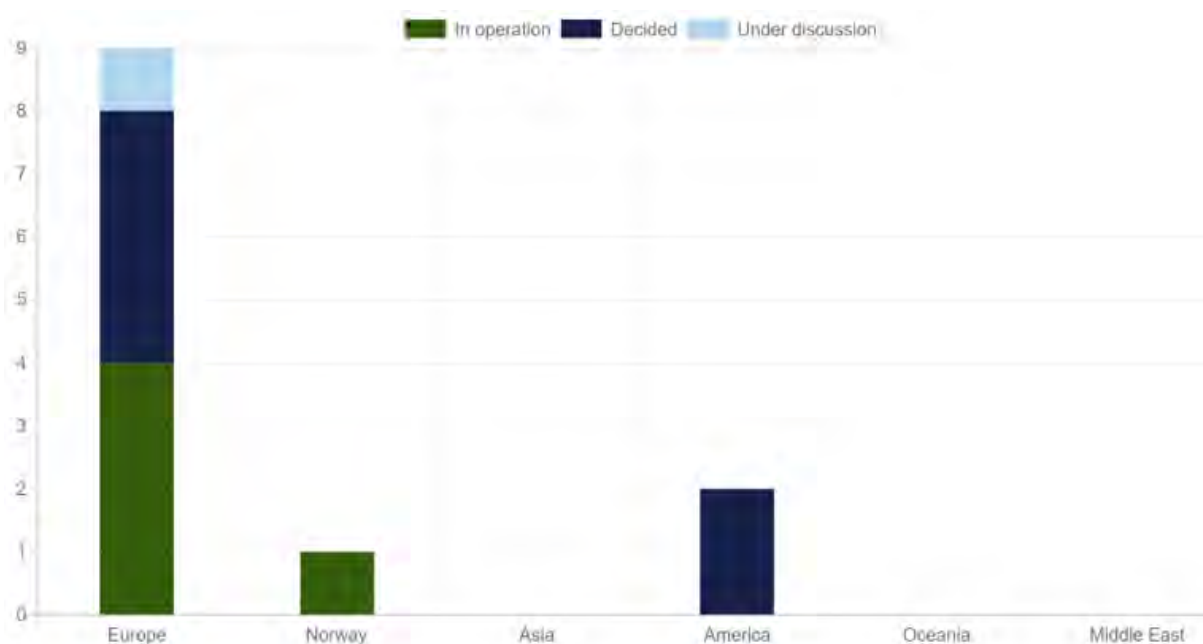
7-5. 欧州の LNG バンカー船、バンカーバージ、その他のバンカリング方法の実例

2018年2月現在、世界では5隻のLNGバンカー船が就航しており、年内にはもう1隻が竣工予定である。2017年初頭には1隻のみであったLNGバンカー船は、2020年には12隻以上になると予想されている。今後5年間以内には世界で30隻近くのLNGバンカー船が就航している可能性もある。⁹²

現在就航中のバンカー船5隻は次のとおり。

- Seagas : 2013年就航。母港はストックホルム（スウェーデン）。
- Engie Zeebrugge : 2017年2月に就航。母港はゼーブブルッヘ（ベルギー）。
- Cardissa : 2017年下半期就航。母港はロッテルダム（オランダ）。
- Coralius : 2017年6月就航。母港はリサヴィカ（ノルウェー）。
- Oizmendi LNG バンカーバージ : 2018年2月就航。母港はビルバオ（スペイン）。

さらに、6隻のバンカー船が発注済み又は計画中である。これらのバンカー船は欧州と米国で就航予定である。



図：LNG バンカー船の地理的分布

(計 12 隻、2018 年 2 月現在、上から計画中、発注済み、就航中)

出所：DNV GL

⁹² SEA\LNG プレゼン資料



図：欧州で就航中、計画中のバンカー船の分布（2018年1月現在）

出所：DNV GL

以下は、欧州で就航中又は計画中の LNG バンカー、バージ、及びその他のバンカリング方法の実例である。

改造 LNG バンカー船「Seagas」

世界初の LNG バンカー船は、スウェーデンの沿岸フェリーを改造した「Seagas」である。同船は、2012年にスウェーデン政府が EU の支援を受けて改造プロジェクトを開始した。

1974年に沿岸フェリー「Fjalir」としてノルウェー造船所 Løland Verft で建造された同船は、2013年にノルウェー造船所 Fiskerstrand Verft で大型 LNG 運搬船と同様に IMO IGC コードに従って LNG バンカー船「Seagas」（全長 49.65m、626 総トン）に改造され、ストックホルム港に就航した。船級は DNV GL で、ノーテーション「DNV+1A 1, Tanker for LNG, Ice C」を取得している。

同船は、スウェーデンのバンカリング企業 AGA が所有し、同じくスウェーデン船社 Sirius Shipping が運航している。AGA は、truck-to-ship のバンカリングも行っており、Sirius Shipping は後述の新造 LNG バンカー船「Coralis」の運航も行っている。

180m³の LNG タンクを持つ「Seagas」は、ストックホルムに毎日寄港する Viking Line

の世界最大の LNG 燃料クルーズフェリー「Viking Grace」が停泊中に短時間で 50～60 トンの LNG バンカリングを行っている。バンカリングを含めた全作業は 1 時間で完了する。2016 年 8 月には既に 1,000 回目のバンカリングを達成した。



バンカー船「Seagas」からフェリー「Viking Grace」へのバンカリング
出所：AGA

LNG バンカー船「ENGIE Zeebrugge」

ベルギーのガス企業 Fluxys Belgium、フランス ENGIE、日本郵船、三菱商事が共同で設立した LNG バンカー船保有会社が韓国韓進重工に新造発注した「ENGIE Zeebrugge」は、世界初の新造 LNG バンカー専用船である。

全長 107.6m、全幅 18.4m、総トン数 7,403GT の同船は、DF ディーゼル電気推進システムと Azipod 2 基で駆動される。DF 主機は、LNG、MDO、MGO の使用が可能である。総容量 5,000m³ の C-Type の LNG タンク 2 基を持ち、1 時間に最大 600m³ のバンカリングが可能である。船級は Bureau Veritas で、日本郵船の LNG 部門である英国 NYK Energy Transport (Atlantic) が同船を運航する。

ベルギーのゼーブブルッヘ港を母港とする同船は、2017 年 2 月に就航し、同港に停泊中のノルウェー United European Car Carriers (UECC) 所有の世界初の LNG 燃料自動車運搬船「AUTO ECO」及び「AUTO ENERGY」の荷役作業中にバンカリングを行う他、近隣港湾において北海、バルト海を航行する LNG 燃料船にバンカリングを行っている。

なお、ENGIE、日本郵船、三菱商事の 3 社は、2016 年 9 月より「Gas4Sea」というブランドネームで、船用 LNG 燃料供給・販売事業を行っている。2017 年 10 月には、Statoil が所有する 2020 年に就航予定の DF エンジン駆動原油シャトルタンカー 4 隻向けに、ロッテルダム港において「ENGIE Zeebrugge」からの LNG バンカリングを提供する長期契約

を締結した。⁹³



LNG バンカー船「ENGIE Zeebrugge」

出所：ENGIE

LNG バンカー船「Coralius」

2017年9月、欧州で建造された初の LNG バンカー船「Coralius」（全長 99.6m、LNG タンク容量 5,800m³）がノルウェーで就航した。同船は、ガスタンカー船社 Anthony Veder（本社：ロッテルダム）とスウェーデン船社 Sirius Shipping の合弁会社 Sirius Veder Gas AB が所有し、フィンランドのガス会社 Gasum の子会社 Skangas と長期用船契約を結んでいる。

Skangas は、同船を LNG 燃料の船舶間移送を行うバンカー船として使用すると同時に、主要 LNG 基地から小規模ターミナルへのフィーダー船としても用いる。

ガス燃料業界団体 Society for Gas and Marine Fuel（SGMF）の安全基準ガイドラインに従ってオランダ造船所 Royal Bodewes で建造された同船は、船舶間の迅速で安全な LNG 燃料の大量移送が可能な最新の LNG 移送設備を持つ。北海、バルト海を中心とした北欧海域を航行するため、氷海仕様（Ice Class 1A）となっている。

⁹³ <http://www.gas4sea.com/news/>



LNG バンカー船「Coralius」

出所：Skangas

新造 LNG バンカー船「Cardissa」

Shell のオランダ LNG バンカリング子会社 Shell Western LNG B.V.は、2017 年 8 月にロッテルダム港 GATE ターミナルにおいて、韓国 STX 海洋造船で建造された 6,500m³型の新造 LNG バンカー船「Cardissa」の運航を開始した。同船は、Shell の第 1 船目の LNG バンカー船である。海洋船である同船は、GATE ターミナルで LNG を補給し、欧州各地で STS バンカリングを行う。

同船は、全長 119.90m、全幅 19.4 m、9,816 総トン、航海速度は 13 ノットで、主機は 8 シリンダー Wärtsilä 20DF 型エンジン 3 基、バンカリング用には 9%ニッケル鋼製のシリンダー型 LNG タンク 2 基を装備している。オランダ船籍で船級は Lloyd's Register である。

同船は、北海及びバルト海における船用 LNG 燃料の普及を目指す EU 助成プロジェクト「ReaLNG」（実施期間：2014 年 1 月～2017 年 6 月）の一環として建造された。

2017 年 4 月、Shell は、ロシア Sovcomflot と、同社所有の世界初の LNG 燃料アフラマックス型原油タンカー船隊へのバンカリングに関する契約を締結した。また、2019 年に欧州海域に就航予定の米国 Carnival Corporation の超大型クルーズ船 2 隻へのバンカリングにも合意している。⁹⁴

⁹⁴ Shell press release, Aug 11, 2017、Wärtsilä、ReaLNG



LNG バンカー船「Cardissa」

出所：Shell

改造 LNG バンカー船「Coral Methane」

2017年11月、Shellは、世界で初めて多目的タンカーをLNGバンカー船に改造する計画を発表した。改造される多目的タンカーは、ガスタンカー船社 Anthony Veder が所有する小型 LNG/LPG/LEG (液化エチレンガス) 運搬船「Coral Methane」(全長 117.8m×18.6m、タンク容量 7,500m³、2009年建造) である。ディーゼル・ガス・電気推進システムとアジマス式ポッドを組み合わせ、操船性に優れた同船は、ノルウェー沿岸の小規模ターミナルへの LNG 輸送を行っていた。

同船の改造は 2018 年に予定されており、改造後は北海、地中海を中心とした欧州海域で LNG バンカリングを行う。同船は、上記の「Cardissa」、Shell がベルギー Victrol NV とフランス CFT の合弁会社 LNG Shipping から長期用船する予定の 3,000m³ 型新造バンカー船 (バージ) に続き、Shell が運航する 3 隻目の LNG バンカー船となる。



多目的タンカー「Coral Methane」

出所：Anthony Veder

バンカリングポンツーン「Titan LNG Flex-Fueler」

2016年11月、オランダ Titan LNG 社は、アムステルダム港ーロッテルダム港ーアントワープ港（ARA）地域の海洋船、河川船向けに新たな LNG バンカリングのソリューションとなる LNG バンカリングポンツーン（バージ）「Titan LNG Flex-Fueler」船型を開発した。



バンカーポンツーン「Titan LNG Flex-Fueler」のイメージ図

出所：Titan LNG

「Titan LNG Flex-Fueler」船型は、欧州北西部初の LNG バンカリングポンツーンである。同船は、河川船への LNG バンカリングに加え、大型海洋船への供給も可能であるという柔軟性の高さが特徴である。Titan LNG 社は、同船は従来の LNG バンカーバージよりも運航が経済的で、初期投資も低いとしている。

2018年1月、ポンツーンの第1船「FlexFueler001」は、母港としてアムステルダム港と契約を締結した。同船はアムステルダム港の America Harbour をベースとし、トラック又は LNG 運搬船から LNG 燃料を供給される。同船は押船によって移動する。「FlexFueler001」は2018年末に稼働する予定である。

SamueLNG：バンカーバージ開発プロジェクト

「SamueLNG」プロジェクトは、フランス及びスペイン大西洋岸の港湾の LNG インフラ整備と小型船への LNG 燃料導入に関する EU 助成プロジェクトで、両国の港湾管理局、浚渫船運航協会、エンジニアリング企業、エネルギー企業、近距離貨物船社等 12 企業・組織が参加している。

同プロジェクトは、研究開発活動の一つとして、新たなコンセプトの LNG バンカーバージを建造し、スペイン北西部ビーゴ港において就航させる計画を進めている。

開発中の新型バージの特長は、通常の STS バンカリングに加え、停泊中の船舶が使用する電力の供給を行う機能を持つことである。バージの全長は 47.85m、LNG タンク容量は 600m³ である。プロジェクトでは、自走式、非自走式の両方のコンセプトを開発した。



SamueLNG バンカーバージ（非自走式）のイメージ図

出所：SamueLNG

MAN Cyro : RORO 式 LNG 燃料タンクトレーラー

2016 年、MAN Diesel & Turbo のスウェーデン子会社 MAN Diesel & Turbo Sverige は、スウェーデンのエンジニアリング企業 Linde Group の LNG システム製造部門である Cyro AB 社を買収し、同社のビジネスと製品は「MAN Cyro」というブランドネームに変更された。

MAN Cyro は、オーストラリア船社 SeaRoad Shipping の RORO 貨物船向けに、トレーラーに搭載された LNG 燃料タンクをそのまま船内に積み込むというユニークなバンカリング方法を開発した。

SeaRoad Shipping は、オーストラリア本土とタスマニア島を結ぶ海上貨物輸送を行っている。LNG バンカリングインフラが未整備の海域にオーストラリア初の LNG 燃料沿岸 RORO 貨物船「Searoad Mersey II」（全長 181.52 m、25,409 総トン）を導入するに際し、従来の固定式 LNG タンクではなく、同船の RORO 機能を活用したこの新たなバンカリング方法が開発された。MAN Cyro は、LNG 燃料ガスシステム一式に加え、容量 50m³ の LNG トレーラー 7 台を提供している。このうち、トレーラー 3 台が船内 LNG タンクとして利用される。

MAN Cyro は、同システムは、RORO 船、ROPAX 船へのレトロフィットに最適なバンカリング方法であるとしている。問題点としては、LNG 燃料タンクトレーラーは、船用燃料タンク及び道路車両として両方の規則を満たす必要があること、複雑な配管システムにより圧力低下が発生しやすいこと、高圧ホースのトレーラーへの接続が難しいことを挙げている。



RORO 貨物船「Searoad Mersey II」

出所：SeaRoad Shipping



「Searoad Mersey II」の RORO 式 LNG 燃料タンクのイメージ図

出所：MAN Diesel & Turbo

2016年11月にドイツ北部の造船所 Flensburger Schiffbau-Gesellschaft (FSG) で竣工した「Searoad Mersey II」は、欧州からタスマニア島デボンポートまでの喜望峰経由の約1か月間の航海の途中、同船はラスパルマス（スペイン・カナリア諸島）、ケープタウン（南アフリカ）、フリーマントル（オーストラリア西部）の3か所でLNG燃料補給を行った。⁹⁵

⁹⁵ SeaRoad Shipping、MAN Diesel&Turbo プレゼン資料

Connect LNG : 浮体式バンカリングシステム (UTS)

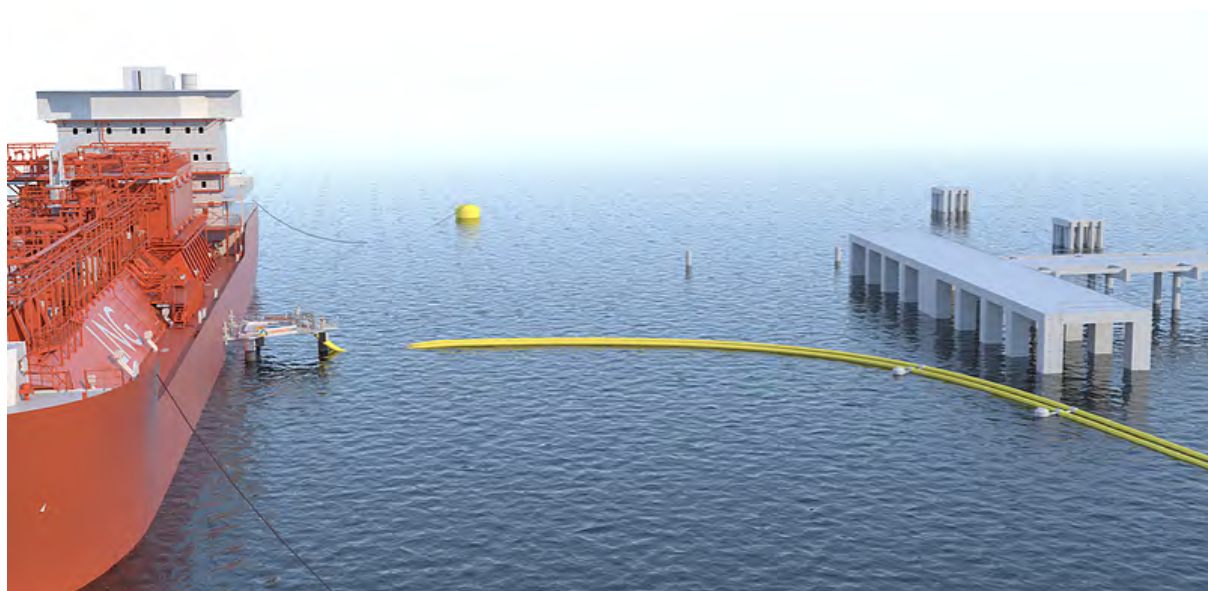
ノルウェーConnect LNG 社は、新たなバンカリング方法として、ユニバーサル・トランスファー・システム (UTS 又は「DirectLink LNG」) を開発し、販売している。

UTS は、浮体式プラットフォームを利用した LNG バンカリングシステムで、プラットフォームは陸上 LNG 貯蔵タンクと浮体式低温ホースで接続されている。プラットフォームはタグボートを利用して船舶に移動し、真空ムーアリングシステムで船体に接続し、軽量でフレキシブルなホースでバンカリングを行う。バンカリング作業は無人で行われ、緊急の場合には真空状態を解除し、プラットフォームを船から切り離すことが可能である。

Connect LNG は、UTS の利点として、コスト効果、安全性、モビリティ、柔軟性とユニバーサル性、リードタイムの短縮、海洋環境への影響の少なさ等を挙げている。

通常の LNG ターミナルから埠頭を経由した固定インフラによる shore-to-ship バンカリングの方法よりも設置コストは 80% 低く、リードタイムはプラットフォーム建造に 6 か月、全工程も 12 か月以下で完了する。

UTS は、LPG、LEG (液化エチレンガス)、メタン等 LNG 以外の燃料のバンカリングにも応用可能である。



UTS プラットフォームによるバンカリングのイメージ図

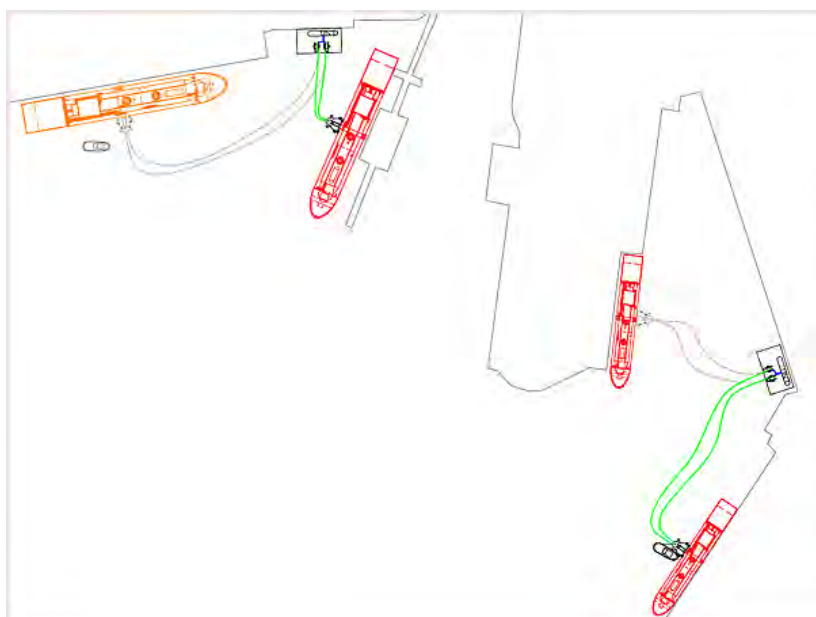
出所 : LNG Connect



タグボートを利用した UTS プラットフォーム移動のイメージ図

出所：LNG Connect

UTS バンカリングは、オスロの Sjursoya 地区に導入される予定である。



オスロ港 Sjursoya 地区の UTS バンカリングインフラのイメージ図

出所：LNG Connect

8. LNG 燃料及び代替燃料の船用利用に関する規制環境

8-1. 概要

基本となる LNG 燃料船及び LNG バンカリングに関連する国際規則は、LNG 燃料船一般に関しては IMO IGF コード、LNG バンカー船を含む LNG 運搬船に関しては IMO IGC コードである。

この他にも LNG 燃料船の設計と建造に関しては各船級協会による規則、LNG 燃料の取扱いに関しては各国政府や政府自治体、港湾等が独自に制定する規則や業界団体が推奨する標準等がある。

現行の IMO 規制や ISO 標準に加え、LNG 燃料を含む代替エネルギーを安全に使用するためには、統一された船用燃料と関連技術に関する規則や推奨される利用方法の制定が不可欠である。

現在、IGF コードの安全要件は LNG 燃料船のみを対象としており、主要船級協会は、IMO に先駆けて LNG 以外の船用代替燃料の使用環境に関する規則の整備を開始している。船主にとって、新燃料、新技術の導入には多くの不透明さがある。船級協会のような中立的な第三者機関による技術認証は、新技術導入への推進力となり得る。

現時点における LNG 燃料船及び LNG バンカリングに関連する主な国際標準及び規則、並びに欧州独自の規則は以下のとおりである。

8-2. 主要国際規則と標準

IMO 国際規則

- MARPOL 条約 (The International Convention for the Prevention of Pollution from Ships) : 船舶による環境汚染を防止するための国際条約。ECA や船用燃料の硫黄含有分に関する規制を含む。
- IGF コード (ガス燃料その他の低引火点燃料を使用する船舶の安全性に関する国際規則 : International Code of Safety for Ships using Gases or other Low flashpoint Fuels) : 2015 年 6 月に採択された、ガス燃料を使用する海洋船が従来の石油燃料船と同等の安全性や信頼性を実現するための建造基準と関連安全要件。2017 年 1 月 1 日発効。
- IGC コード (液化ガス輸送のための船舶の構造及び設備に関する国際規則 : The International Code for the Construction and Equipment of Ships Carrying

Liquefied Gases in Bulk) :液体ガスとその他特定物質の海上輸送を行う船舶が、環境、乗組員、船舶へのリスクを最小限に止めるための設計、構造、機器に関する国際規則。

- STCW 条約 (1978 年の船員の訓練及び資格証明並びに当直の基準に関する国際条約 : The International Convention on Standards of Training, Certification and Watch keeping for Seafarers, 1978) : 2017 年 2 月にガス燃料その他の低引火点燃料を使用する船舶の乗組員の訓練に関する暫定ガイドラインを追加。

EU 指令

- 液体燃料中の硫黄分削減に関する EU 指令 DIRECTIVE (EU) 2016/802 (DIRECTIVE (EU) 2016/802 OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 11 May 2016 relating to a reduction in the sulphur content of certain liquid fuels) : IMO 規則に則した Council Directive 1999/32/EC、EU 指令 2012/33/EU の船用燃料中の SO_x 規制を成文化。また、EU 加盟国に対し、排ガス削減措置への国家補助を認める。2016 年 5 月 21 日発効。
- 代替燃料インフラ整備に関する EU 指令 2014/94/EU (Directive 2014/94/EU of the European Parliament and of the Council of 22 October 2014 on the deployment of alternative fuels infrastructure) : EU 加盟国に対し、代替燃料と関連インフラの整備促進に関する国家政策制定を要求。2014 年 10 月 28 日発効。

欧州海上保安庁 (EMSA) ガイダンス

- 港務局及び港湾管理局への LNG バンカリングに関するガイダンス:同ガイダンスは、安全と持続性の向上への取組みの一部として、船舶燃料としての LNG 利用を支援し港湾管理当局及び行政機関を支援する目的の下、EMSA が欧州委員会移動・運輸総局 (DG MOVE) や EU 加盟国、関連業界との協力により取りまとめたもの。2018 年 2 月に制定。

欧州内陸水路規則

- 内陸水路における危険物の国際輸送に関する欧州合意 (The European Agreement Concerning the International Carriage of Dangerous Goods by Inland Waterways : ADN) : LNG を含む危険物の河川輸送に関する欧州規則。2008 年 2 月 29 日発効。
- ライン川船舶検査規則 (The Rhine Vessel Inspection Regulation : RVIR) : ライン川航行中央委員会 (CCNR) によるライン川航行規則。2014 年 1 月、LNG バンカー船への布石となる LNG 燃料の大量輸送に関する安全規則を採択。2015 年 1 月発効。

- ライン川航行に関する警察規則 (Police Regulations for the Navigation of the Rhine : RPR) : 2015 年 10 月、トラックから船舶への LNG バンカリング標準に関するチェックリストを追加。

ISO 標準

- ISO/TS 18683 : 2015 : 船用燃料としての LNG 補給に関するシステムと設置 (Systems and installations for supply of LNG as fuel to ships) : LNG 供給施設と船舶 (海洋船及び河川船) のインターフェイスを含む LNG バンカリング施設の設計とオペレーションに関する最低要求、及び乗組員の訓練に関する基準。
- ISO 20519 : 2017 : LNG 燃料船バンカリングに関する船舶及び船用技術の仕様 (Ships and marine technology specification for bunkering of liquefied natural gas fuelled vessels) : IMO の IGC コードを補足する技術標準。
- ISO 28460 : 2010 : LNG の船舶から陸上へのインターフェイスと港湾オペレーションの設置と機器 (Installation and equipment for LNG ship-to-shore interface and port operations) : 港湾における LNG 運搬船から陸上 LNG ターミナルへの安全で効率的な貨物移送に関する標準。

SIGTTO 標準

- 業界団体である国際ガスタンカー運航者及び基地操業者協会 (The Society of International Gas Tanker and Terminal Operators : SIGTTO) による船陸間接続システムを含む各種ベストプラクティスと標準

SGMF 標準

- 業界団体である船用ガス燃料ソサエティー (The Society for Gas as a Marine Fuel : SGMF) による LNG バンカリングの安全性に関する標準とベストプラクティス。2017 年 5 月発表。

IACS (国際船級協会連合) ガイダンス

- LNG バンカリング・ガイダンス (No. 142) : 2016 年 6 月発表。上記 SGMF の安全性標準に組み込まれた。

OCIMF／CDI 標準

- 石油会社国際海事フォーラム（OCIMF）とケミカル・ディストリビューション・インスティテュート（CDI）による石油・ケミカルタンカーの船陸間接続の緊急シャットダウンに関する標準とベストプラクティス⁹⁶

IAPH（国際港湾協会）／WPCI チェックリスト

- LNG バンカーチェックリスト：IAPH の WPCI（World Ports Climate Initiative）による主要 LNG バンカリング方法の港湾向け安全性チェックリスト。各港湾のチェックリストの基礎となっている。

8-3. IMO 国際ガス燃料船安全コード（IGF コード）の概要

IGF コードは、IMO の「International Code Of Safety For Ships Using Gases Or Other Low-Flash Point Fuels」の通称である。ガス燃料及び低引火点燃料を使用する総トン数 500GT 以上の船舶に対する安全要件を規定するコードで、LNG 燃料船の国際基準となる規則である。同コードは、2015 年 6 月 11 日、IMO 第 95 回海上安全委員会（MSC95）において「RESOLUTION MSC.391(95)」⁹⁷として採択され、2017 年 1 月 1 日に発効した。

同コードが採択されるまで、国際航海に従事する旅客船には、SOLAS 条約の規定により、原則として推進機関に引火点が 60 度以下の燃料油（低引火点燃料）を使用することが出来なかった。また、国際航海に従事する貨物船で低引火点燃料を使用する場合には、設備全体について個々の主管庁が承認することとなっていた。⁹⁸

採択の背景は、大気汚染防止のために環境規制が強化され、重油の代替燃料として北欧を中心に LNG 燃料の船用利用が進んだことである。ガスを燃料とする船舶に関する国際安全基準が存在しなかったため、IMO では、2009 年に「天然ガス機関を使用する船舶の安全に関する暫定ガイドライン」を策定した後、拘束力を持つ規則の必要性から、義務的基準の策定作業を開始した。IGF コード採択以前には、既に各船級協会が LNG 燃料船に関する標準と規則を制定しており、IGF コードも概ねそれに則した内容となっている。⁹⁹

IGF コードは、①重油より低い温度でも引火するため、従来の船舶より火災リスクが高い、②目に見えないため、燃料漏れに気付かない可能性がある、という天然ガスの特性を考慮し、船舶、乗組員、環境へのリスクを最小限に抑えるために、低引火点燃料を使用する船舶の機関、機器、システムの配置、設置、制御、監視に関する安全要件を規定している。

⁹⁶ <https://www.ocimf.org/media/61636/Linked-Ship-Shore-Emergency-Shutdown-Systems-for-Oil-and-Chemical-Transfers.pdf>

⁹⁷ [http://www.imo.org/en/KnowledgeCentre/IndexofIMOResolutions/Maritime-Safety-Committee-\(MSC\)/Documents/MSC.391\(95\).pdf](http://www.imo.org/en/KnowledgeCentre/IndexofIMOResolutions/Maritime-Safety-Committee-(MSC)/Documents/MSC.391(95).pdf)

⁹⁸ 国土交通省

⁹⁹ ノルウェー海事局

その利点としては、低引火点燃料（天然ガス）を使用する船舶の技術要件が明確になり、安全性を確保した上で、環境負荷の小さい船舶の建造が推進される。

同コードの適用船舶は次のとおり。ただし、貨物を燃料に使用する液化ガス運搬船は適用を除外される。（液化ガス運搬船に関しては IGC コードが適用される。）

- 発効日（2017年1月1日）以降に建造契約が結ばれたガス燃料船
- 発効日以降にガス燃料を使用する機関に換装した船舶

主な安全要件は次のとおり。

- 船舶の衝突又は座礁による損傷を防ぐため、燃料タンク及び燃料配管は外板から 0.8m 以上離すこと
- ガス漏れによる火災・爆発の防止のため、機関室等に適切なガス検知装置を設置すること
- ガス燃料供給時の急激なタンク内圧力上昇を防ぐため、燃料タンクに温度計を設置してモニタリングすること
- ガス燃料船に乗り組む船員のガス燃料供給等についての訓練要件を定めること

IMO は、新燃料に関する技術の発展に伴い、コードの定期的な見直しを行う。また、天然ガス燃料以外の低引火点燃料（メタノール、エタノール）に関する規定を整備し、IGF コードに順次追加していく予定である。

その他の代替燃料に関しては、IMO は燃料電池の船用利用に関する安全要件も検討中であるが、水素と LPG は現在のところ含まれていない。

この報告書はボートレースの交付金による日本財団の助成金を受けて作成しました。

欧州における LNG 等新燃料を使用する
船用エンジンに関する開発動向及び使用環境調査

2018 年（平成 30 年）3 月発行

発行 一般社団法人 日本船用工業会

〒105-0001 東京都港区虎ノ門 1-13-3
虎ノ門東洋共同ビル 5 階
TEL 03-3502-2041 FAX 03-3591-2206

一般財団法人 日本船舶技術研究協会

〒107-0052 東京都港区赤坂 2-10-9 ラウンドクロス赤坂
TEL 03-5575-6426 FAX 03-5114-8941

本書の無断転載、複写、複製を禁じます。

